



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

Humedales Artificiales como reguladores térmicos de viviendas.

Fenómenos bioclimáticos de un humedal artificial de depuración de aguas grises en Santiago frente a las proyecciones climáticas.

por

Samuel Luis Uriarte Tirado

Tesis presentada a la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile, para optar al título de Arquitecto y al grado académico de Magíster en Arquitectura Sustentable y Energía

Profesores Guías

Felipe Encinas Pino, Javier del Río Ojeda, Mariana Andrade

©2020, Samuel Luis Uriarte Tirado

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y su autor.

*A todo aquel que compartió conmigo una conversación sobre los humedales artificiales,
a Bernardita
y mi padre.*



Abstract

Los sistemas de humedales artificiales como depuradores de aguas grises se han demostrado en los últimos años como sistemas eficientes y accesibles que permiten disminuir la carga hídrica de la vivienda por medio de la reutilización de aguas a nivel local.

El siguiente estudio tiene como finalidad medir las capacidades de regulación térmica que pueden suponer estos humedales para una vivienda, con el fin de comprender que estos sistemas recogen ciclos más complejos e integrales que solo el reciclaje de aguas, pudiendo ayudar a disminuir no solo la carga hídrica sino también la carga energética de la vivienda por medio del impacto climático que estos pueden tener, ayudando a contribuir de manera positiva a las principales problemáticas ambientales que trae el cambio climático para la región Metropolitana.

Para llevar a cabo el estudio, se estudian distintos humedales, se propone un método para estimar cual podría ser el impacto térmico del humedal en la vivienda y bajo este método se elabora un análisis con el fin de establecer las variables de diseño más significativas en la carga climática de la vivienda.

Durante el proceso se elige como caso de estudio problemático con alta demanda hídrica y energética el Barrio de Los Trapenses, en la comuna de Lo Barnechea, con el fin de desarrollar un sistema que logre disminuir el alto impacto socio, económico y medioambiental de la vivienda por medio de un humedal artificial.

Índice

1. Introducción: Humedales Artificiales.....	9
1.1 Problemática: Proyecciones del cambio climático.....	10
1.1.2 Definición del Problema.....	12
1.2. Formulación de la Investigación.....	12
1.2.2 Hipótesis: Humedales Artificiales como reguladores térmicos de viviendas.....	12
1.2.3 Objetivos Generales.....	12
1.2.4 Objetivos Específicos.....	12
1.2.5 Metodología.....	13
1.2.6 Alcances del estudio.....	13
2. Descripción de Humedales.....	14
2.1 Humedales Naturales.....	15
2.1.1 Descripción general.....	15
2.1.2 Levantamiento de datos.....	16
2.1.3 Levantamiento de Flora.....	19
2.2. Humedales Artificiales.....	20
2.2.1 Descripción general.....	20
2.2.2 Levantamientos de Datos.....	21
3. Caso de Estudio: Barrio de Los Trapenses.....	27
3.1 Estándar Sustentable: Net Zero Building.....	27
3.2 Contextualización y descripción del Barrio Los Trapenses.....	28
3.2.2 Agua en Los Trapenses.....	33
3.2.3 Energía en Los Trapenses.....	36
4. Cálculo Energético de un Humedal Artificial.....	39
4.1 Síntesis y propuesta de cálculo.....	39
4.1.2 Evo transpiración de cultivo.....	40
4.1.2 Estimación de Radiación Solar Incidente.....	41
4.1.3 Cálculo de Convección y conducción.....	42
4.1.4 Modelo Monte Carlo: Latin Hypercube Sampling.....	43
4.2 Simulaciones de iteración y resultados.....	44
4.3 Simulaciones Aledañas.....	51
5. Conclusiones Generales.....	53
5.1 Conclusiones del caso de Estudio.....	54
5.2 Propuesta de proyecto.....	55
6. Bibliografía.....	63
7. Anexos.....	66



Introducción

Introducción:

1. Humedales Artificiales.

Un humedal artificial se comprende como un sistema que emula el funcionamiento de un humedal natural, en donde se genera un complejo ecosistema entre fauna, flora y aguas que permite una simbiosis entre las partes, generando el crecimiento de la flora a partir de nutrientes presentes en las aguas.

Diversos estudios han comprobado la eficacia de los sistemas de humedales artificiales para tratar las aguas grises y negras de una vivienda (Arias I. & Brix, 2003) permitiendo su reutilización en labores domésticas que no requieren de agua potable, como puede ser la descarga de inodoros, regadío e incluso la utilización para piscinas (Pérez Quintero, Guardia Pueblas, & Rodríguez Pérez, 2017)

El sistema se comprende por la fabricación de un humedal artificial de variables metros cuadrados en donde se almacena el agua una cierta cantidad de días para que plantas macrofitas consuman algunos residuos presentes en las aguas, generando biomasa y agua depurada para reutilización.

Típicamente en un humedal se pueden encontrar varias es-

pecies de vegetación, destacando las macrofitas, además de una variedad de fauna, como aves migratorias, anfibios y algunas especies de peces, destacándose las carpas (*Cyprinus carpio*). Se define como un ecosistema con mucha relación entre sus factores, que logra eliminar en grandes cantidades los contaminantes presentes en los flujos de agua.

Las plantas macrofitas son especies de plantas propias de un humedal que pueden soportar altos niveles de acidez en el medio en que se desarrollan y se nutren a partir de los desechos que generalmente se estancan en los humedales acarreados por un caudal de agua. Si bien hoy en día reconocemos los labores medioambientales que ejercen los humedales como los riñones del planeta, universalmente los humedales han sido históricamente subvalorados, se estima que en los últimos 300 años la humanidad ha destruido el 87% de los humedales del planeta (Davidson, 2014) but without provision of supporting evidence, that the world has lost 50% of its wetlands (or 50% since 1900 AD.

Los humedales artificiales, que buscan emular estos ecosistemas, por su parte se pueden encontrar en distintos formatos y formas, ya sea superficiales o sub-superficiales, con

distintas variedades de plantas macrofitas según el clima y en algunos casos incluso puede existir presencia de fauna.

En este contexto se presenta la ley 21.075, que permite, de manera inédita en el país, la reutilización de aguas grises a nivel doméstico por medio de sistemas de depuración con fines de regadío y sin contacto con el humano. Esta situación permite la elaboración de humedales artificiales a niveles residenciales para la depuración de aguas.

Sin embargo, actualmente solo se permite la utilización de estos sistemas sin contacto con los habitantes y exclusivamente para el tratamiento de aguas grises, excluyendo el tratamiento de aguas negras y la utilización de aguas grises para piscinas domésticas a pesar de que la bibliografía ha comprobado la eficacia para ambos. (Pérez Quintero et al., 2017), (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010). Lo anterior, ha generado que los humedales artificiales no dialoguen con la arquitectura ni con el diseño paisajístico, desaprovechando oportunidades de diseño.

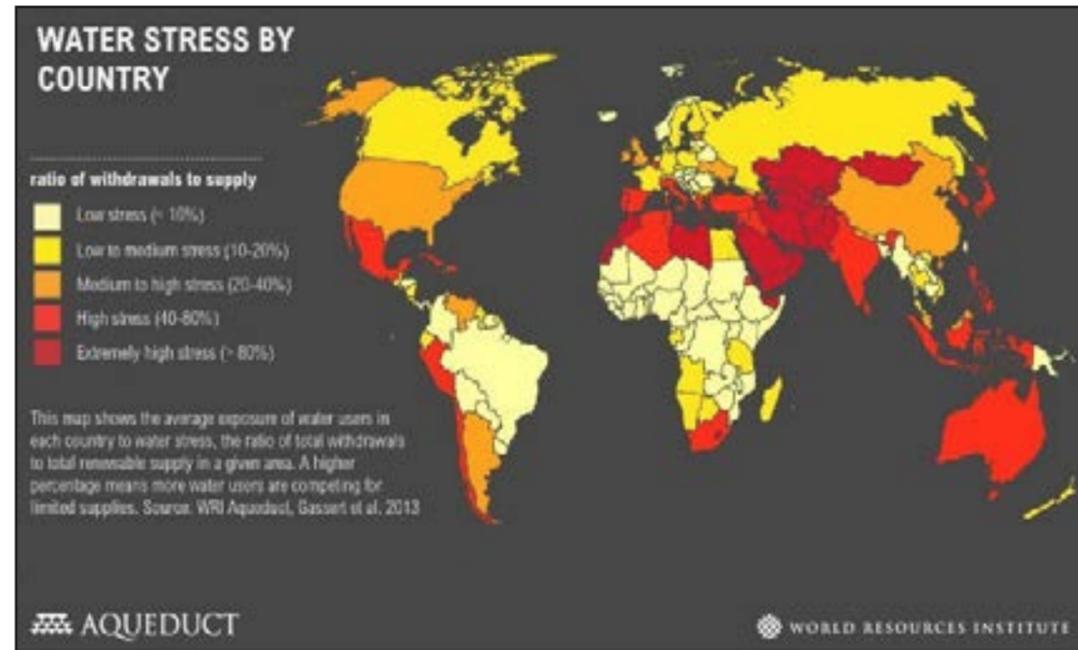


Figura 1.0, "Stress hídrico por País"
Fuente: World Resources Institute, Water Stress By Country. Indica que Chile tendrá entre un 40%-80% de déficit de agua para el 2050.

1.1. Problemática: Proyecciones del cambio climático

Diversos estudios han advertido sobre las consecuencias de cambio climático en el globo: aumento de las temperaturas promedio, cambio de los ciclos del agua, derretimiento de los polos, extinción de especies y cambios generales en los ecosistemas. (ONU, 2016) (EMOL, 2019b)

A nivel local, Chile se verá enfrentado a una fuerte escasez hídrica y aumento de temperaturas, el foro económico mundial y el instituto mundial de recursos nos ubican dentro de los países más golpeados por el cambio de los ciclos del agua (ver figura 1.0), situación que el gobierno ha empezado a enfrentar mediante distintos estudios y estrategias para combatir la escasez hídrica que se ha pronosticado (Donoso, 2012).

Dentro de las principales problemáticas como país se encuentra la accesibilidad al agua, mientras que la zona austral posee grandes cantidades de este recurso, los costos que puede suponer el transporte hacia las regiones del norte hacen que sea inviable, barajándose como opción nacional la desalinización y establecer una cultura de ahorro en las grandes urbes. (EMOL, 2019a; Larraín, 2006) En el mismo escenario, los efectos proyectados del cambio climático sugieren que también existirá un aumento de las temperaturas a lo largo del país, situación que la Agencia Internacional de Energía (IEA) describe como potencialmente problemática debido al alza de utilización de equipos de climatización a nivel residencial a lo largo del globo, pronosticando un aumento de hasta un 500% hacia el 2040 (Ver figura 1.1). (International Energy Agency, 2018)

Esta situación la podemos ver reflejada en el alza de equipos climatizados a nivel residencial en la ciudad de Santiago, urbe que ha sido escogida como caso de estudio, evidenciado por medios locales que indican que las ventas de equipos de climatización aumentaron en un 30% tras las olas de calor durante el verano del 2019. (BioBioChile, 2019).

Estudios de Políticas Públicas UC declaran que la adquisición de estos equipos se concentra mayoritariamente en los quintiles de mayores ingresos de la ciudad, provocado por los altos gastos energéticos que estos conllevan, (Citado por Encinas, F., 2012) declarándose las comunas de mayores ingresos de la región aquellas como las más propicias a equiparse con no solo uno, si no que varios equipos de climatización debido al tamaño de las viviendas. (Ver Figura 1.2).

La principal problemática observable con el alza de instalaciones de equipos de climatización tiene que ver con la matriz energética de la región metropolitana de Chile, que actualmente se concentra principalmente en energías a base de carbón (Raúl Obrecht, 2016), generando altos índices de contaminación de gases invernadero, el principal causante del cambio climático.

Además de esta problemática, los equipos de climatización no disminuyen la temperatura de un recinto, si no que más bien transportan esta energía hacia el exterior, agravando el efecto de isla de calor de las grandes urbes. (Martins, 2019)

Desde este punto de vista, la instalación de equipos de climatización con funcionamientos eléctricos se desenvuelve en un círculo vicioso progresivo, ya que por cada equipo instalado se agrava el problema climático que genera la necesidad de más equipos.

Por consiguiente, es necesario buscar maneras alternativas de climatización residencial para evitar el alza de equipos eléctricos y no contribuir al cambio climático, teniendo en cuenta también las consecuencias negativas para la salud que pueden generar los equipos de climatización eléctricos, que incluye entre los síntomas comunes: infecciones respiratorias, sequedad de la piel, ojos rojos, alergias, asma, entre otros (Cabello, 2010).

Se ha posicionado en la esfera de la arquitectura bioclimática como una buena alternativa la utilización de vegetación como amortiguador térmico, desde fachadas verdes o patios interiores, se ha comprobado la eficacia de estos sistemas como regulador climático en base a la evo-transpiración de las plantas (Campillo & Sena, 2017).

Sin embargo, la problemática de estos sistemas recae principalmente en que su funcionamiento es a base de agua, recurso que como se ha discutido previamente, también se proyecta como escaso para el país.

Desde este punto de vista, los humedales artificiales aparecen como sistemas que permiten disminuir la carga hídrica y energética de la vivienda a un muy bajo costo monetario. Sin embargo, suponen un costo cultural para los habitantes debido a que ciertas costumbres del vivir deben verse alteradas para el correcto funcionamiento de estos sistemas, que aunque no deberían generar malos olores ni la presencia de insectos, se debe tener un especial cuidado con respecto a los desechos lanzados en las aguas grises, forzando la utilización de elementos de limpieza biodegradables y un monitoreo de las condiciones del humedal.

Haciéndose cargo de las condiciones previamente expuestas, el humedal artificial puede aparecer como un sistema de regulación térmica vegetal que, consumiendo las aguas utilizadas en la vivienda, genera aguas aptas para la reutilización.

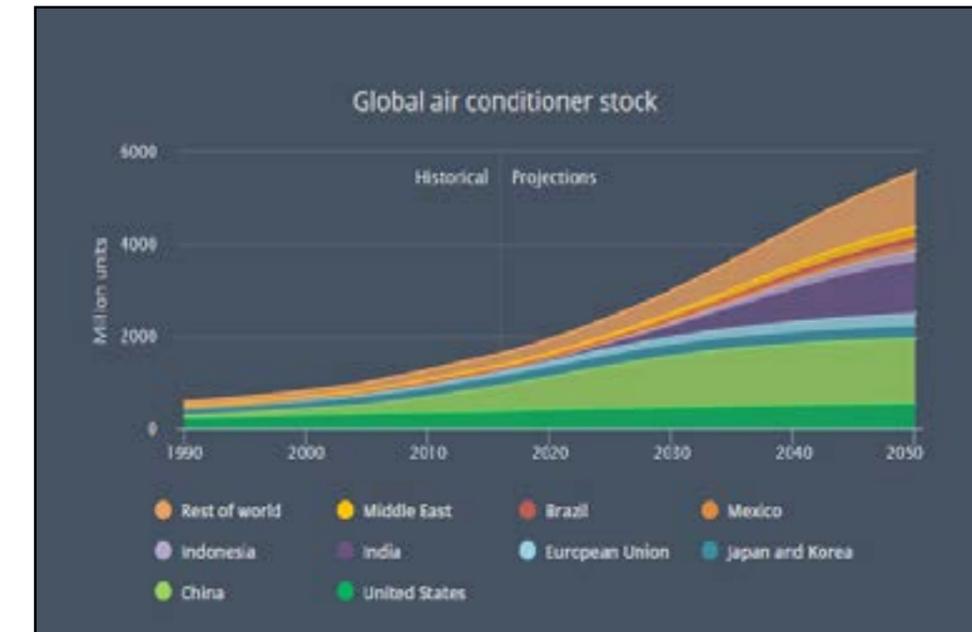


Figura 1.1, "Proyección Cantidad de equipos de aire climatizado a nivel global"
Fuente: International Energy Agency, IEA.org/futureofcooling/

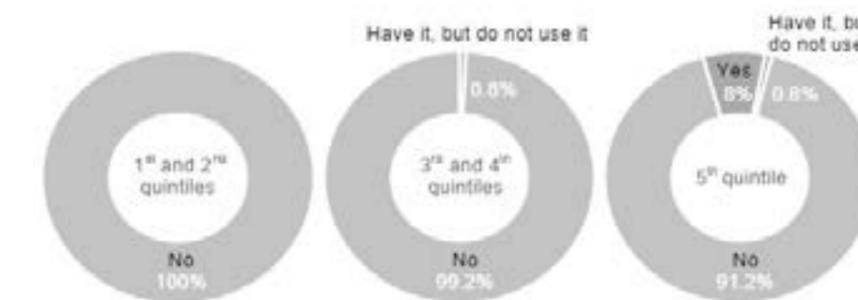


Figura 1.2, "Distribución y uso social de Equipos Climatización"
Fuente: Encinas, F. (2012). Elaborado en base a datos del Centro de Políticas Públicas UC (2010)

1.1.2 Definición del Problema

La correcta implementación de humedales artificiales puede suponer mayores beneficios que los reconocidos hoy por la industria, la academia y la legislación, proponiendo estos como una herramienta de regulación a las problemáticas del cambio climático proyectadas para la región que no están siendo observados.

Debido a la falta de bibliografía que estudie el tema en particular, es necesario estudiar el potencial de los humedales artificiales comprendiendo a estos como un ecosistema con un ciclo más complejo e integral que solo el reciclaje de aguas, poniendo énfasis en su potencial de regulación térmica del espacio circundante por medio de los procesos de evo-transpiración presentes de manera natural en las plantas propias del sistema.

El alza de equipamiento residencial de sistemas de climatización y la escasez hídrica que se proyecta para la ciudad de Santiago producto del cambio climático puede generar una situación progresiva de empeoramiento de las condiciones debido al aumento de la emisión de gases de efecto invernadero que esto supone, por lo que es necesario buscar estrategias arquitectónicas que ayuden a disminuir la carga hídrica y energética de las viviendas de Santiago, con especial énfasis en aquellas del primer quintil de ingresos, debido a su alto consumo energético actual y su potencial aumento de equipos de

climatización advertido por la IEA y demostrado por CEDEUS, que significaría un incremento en la carga energética de las viviendas.

Desde este contexto se plantea la interrogante: **¿Qué fenómenos bioclimáticos existen en un humedal artificial, como se pueden estimar y de qué manera se pueden modificar desde la arquitectura?**

1.2 Formulación de la investigación

1.2.1 Hipótesis

La implementación estratégica de sistemas de humedales artificiales como elemento arquitectónico en las viviendas tiene potenciales de regulación térmica que complementan las cualidades de reciclaje hídrico de los sistemas para proponerse como una propuesta efectiva para disminuir la carga hídrica y energética de las viviendas del primer quintil de ingresos en la Región Metropolitana de Chile.

1.2.2 Objetivo General

Estudiar las capacidades de regulación térmica de un humedal artificial inserto en una vivienda en la Región Metropolitana con el fin de disminuir la alta carga climática e hídrica que las viviendas del primer quintil de ingresos suponen frente al cambio climático proyectado para la región, desarrollando estrategias arquitectónicas para potenciar el efecto bioclimático del humedal.

1.2.3 Objetivos Específicos

I. Levantar y estudiar el comportamiento bioclimático de humedales naturales y artificiales insertos en la ciudad de Santiago, para registrar las propiedades bioclimáticas que puede presentar en el clima local.

II. Proponer un método de cálculo para estimar el impacto climático que puede tener un humedal artificial circundante o inserto en una vivienda.

III. Estimar el impacto climático de un humedal artificial bajo la alteración de distintas variables formales arquitectónicas, con la finalidad de estudiar que implicancia pueden tener variables arquitectónicas sobre las condiciones bioclimáticas del humedal.

1.2.4 Metodología

I. Por medio de la utilización de herramientas de medición de temperatura y humedad, medir y levantar el comportamiento de un humedal natural y artificial inserto en la comuna de Lo Barnechea con el fin de elaborar una base de datos que respalde el funcionamiento bioclimático del sistema en su estado natural, evidenciando el potencial de regulación de los humedales.

II. Por medio del estudio de bibliografía multidisciplinar con respecto a distintas variables del tema, relacionar y ligar métodos de distintos autores con el fin de proponer un método empírico para estimar el aporte que puede tener un humedal sobre una vivienda bajo variables de clima, constructibilidad y diseño.

III. Comparar los resultados de estimaciones bajo distintas variables de diseño arquitectónico por medio de un software de desempeño energético de una vivienda en un régimen dinámico por medio de un muestreo de tipo Monte Carlo, con el fin de detectar los factores más incidentes en el comportamiento térmico del humedal y la vivienda.

1.2.5 Alcances.

Este estudio se concentra en medir y estimar las cualidades térmicas que puede suponer un humedal artificial para una vivienda desde la arquitectura, por lo que no se investigan más allá del marco teórico aspectos que tengan que ver con el área de salud o agronomía.

Se propone aprovechar cualidades de un humedal que no han sido tratadas desde la ley 21.075 y escasamente desde la bibliografía, puesto que la mayoría de los estudios realizados hasta el momento se concentran en las cualidades depuradoras de los humedales, sentando una base que no es suficiente para llevar a cabo una reforma legislativa que permita la implementación de estos sistemas como medida térmica.

Para que esto ocurra, es necesario desarrollar una investigación de una escala mayor que identifique y mida las problemáticas que puede suponer un contacto humano con el humedal desde un punto de vista de salud y agronomía, comprendiendo que los fenómenos que ocurren en un humedal son mucho más complejos e integrales que solo la depuración de agua y regulación climática.

También sería necesario analizar el comportamiento de un humedal inserto en una vivienda en un largo plazo para estudiar consecuencias no proyectadas desde un inicio, como podría ser aparición de hongos en la vivienda por la humedad excesiva del medio.

Además, este estudio solo se concentra en el funcionamiento de estos sistemas a nivel de la Región metropolitana, dejando abierta la puerta al estudio de aplicación de humedales en viviendas para distintos climas a nivel nacional e internacional.



Marco Teorico: Humedales

2. Humedales

2.1 Humedales Naturales

2.1.1 Descripción General.

La fundación Kennedy de conservación de humedales define un humedal como: *“Zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él. Se dan en los lugares donde la capa freática se halla en o cerca de la superficie de la tierra o donde la tierra está cubierta de agua poco profunda”* (Fundación Kennedy, 2004)

Un humedal comprende una zona de tierra cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitente, generando las condiciones ideales para el nacimiento de un ecosistema húmedo que se alimenta de las partículas arrastradas por las aguas al escurrir, por esto mismo es que los humedales suelen tener muy bajos flujos de agua, permitiendo la sedimentación de los áridos y materia orgánica presente.

Son característicos de los humedales las plantas macrofitas, que crecen en este ecosistema y se alimentan de los sedimentos presentes en las aguas, que al estancarse se condensan y acumulan.

Existen diversos tipos de humedales según los climas en los que estos se encuentran insertos, su tamaño generalmente tiene relación con la cantidad de agua disponible en el medio.

En este punto, cabe mencionar que en la cosmovisión mapuche los humedales (Menokos) tienen un rol relevante, dotándolos de cualidades medicinales divinas donde estaba prohibido el ingreso de animales o personas a ellos, ya que el complejo orden entre los factores

que coexisten en él podía ser fácilmente destruido por un visitante externo.

Para esta cultura, los humedales son fuentes de buenas aguas y las mejores plantas medicinales, además de atraer buen clima, ya que en ellos habitan espíritus divinos, es por esto que diversas comunidades mapuches han abogado históricamente por la defensa de los humedales. (Seguel, 2018)

Si contextualizamos a nivel nacional, la ciudad de Temuco, capital de la región de la Araucanía, recibe su nombre debido al árbol de Temu, árbol típico de zonas de humedales. Se pueden observar ecosistemas similares en ciudades al sur de Chile como Valdivia, Concepción, Villarrica, Coyhaique, en donde los grandes afluentes de agua permiten grandes explanadas de humedales (Ver Figura 2).

A medida que uno se traslada hacia el norte del país y disminuyen las precipitaciones los humedales aparecen cada vez más disminuidos, pero aun así son ecosistemas típicos de las zonas costeras centrales del país (humedal Río Maipo, humedal de Mantagua, Laguna Zaino El Copín, Humedal de Tunquen, Dunas de Longotoma, Salinas de Pullally, entre otros) (Olguín, 2018).

Si bien estos no tienen las dimensiones que existen en el sur del país (de hasta 500 hectáreas), el humedal Río Maipo, correspondiente a la desembocadura de la principal cuenca hídrica de la Región Metropolitana, tiene

una superficie variable de alrededor de 50 hectáreas en el punto de desagüe hacia el mar.

El humedal más norteño del país corresponde al Humedal de la desembocadura del río Lluta, en la región de Arica y Parinacota, en pleno desierto de Atacama. A pesar de encontrarse en una de las zonas más áridas del mundo, el humedal tiene una dimensión de 30 hectáreas y cumple un rol fundamental en la migración de aves. (Registro Nacional de Áreas Protegidas, 2019)

Con respecto a la Región Metropolitana, los humedales existentes se han visto gravemente amenazados, haciendo necesaria la intervención de fundaciones y planes gubernamentales de protección para salvaguardar sus ecosistemas, como es el caso del Humedal de Batuco, el humedal de mayores dimensiones en la Región Metropolitana, quien en la última década se ha visto envuelto en una serie de polémicas debido al drenaje de las aguas con fines inmobiliarios e industriales, además de un alto nivel de contaminación de las aguas debido a una planta de tratamiento y la caza ilegal de aves, casi extinguiendo su flora y fauna.

La CONAMA metropolitana ha intentado proteger el humedal con distintas medidas desde el 2009 y el 2016 las tierras fueron adquiridas por la fundación San Carlos de Maipo con el fin de preservar el ecosistema.



Figura 2, "Humedal Coyhaique Alto"
Imagen propia de un humedal de 500 hectáreas 60 kilómetros al norte de Coyhaique. Fuente: Elaboración Propia

2.1.2 Levantamiento de Datos

Con el fin de guiar el estudio y los levantamientos a generar, se levantó información de un humedal natural con fines preliminares para observar su comportamiento bioclimático. Se escoge como caso de estudio un humedal natural inserto en Lo Barnechea, un terreno colindante con varios condominios de vivienda y una urbanización desarrollada, comprendiendo que esto afecta a las condiciones bioclimáticas del humedal propio.

El humedal natural se alimenta de las quebradas de la zona, con presencia de afluente la mayoría del año (a excepción de algunos días de verano), las aguas se estancan y cubren una superficie variable entre 15 y 70m². (Ver Figura 2) Existe una amplia variedad de flora, contando con varias especies macrófitas y presencia de fauna.

La medición, a pesar de ser desarrollada en el mes de mayo, se encontró con un bajo flujo de agua debido a la escasa precipitación del año, encontrándose el humedal en proporciones muy disminuidas. A pesar de esto, los resultados obtenidos tienen una diferencia de temperatura de hasta 4,3 grados.

El levantamiento preliminar se llevó a cabo con un Data Logger Termómetro Higrometro TFA Klimalogg PRO sobre un poliestireno expandido para evitar transmisión de temperatura desde el suelo (en el número "1" de la Figura 2.0) a las 00:00, 9:00, 13:00, 17:00 y 20:00, tomando como referencia la temperatura registrada en el camino de grava por el cual se puede acceder al humedal, a 100 metros de distancia de las aguas (Número "2" en Figura 2.0) para poder comparar los datos.

Se puede observar en los resultados obtenidos una diferencia de hasta 4,3°C entre el humedal y el acceso a este (Figura 2.1), sosteniendo siempre una relación entre temperatura y humedad relativa (Figuras 2.2 y 2.3).

Este fenómeno se explica por la transpiración del humedal, convertir agua líquida en agua gaseosa resulta en un proceso más fácil si el aire no se encuentra saturado en agua gaseosa, que se representa como humedad relativa. Es decir, a menor humedad relativa al sistema le es más fácil evaporar agua, absorbiendo mayor energía del medio.

De esta forma, se permite una regulación natural del sistema humedal en el clima de Santiago, ya que este presenta una estación seca calurosa, con mínimas me-



Figura 2.0, "Imagen Satelital Humedal Natural"
Imagen Satelital del humedal natural, se dibujó un contorno azul para indicar el humedal, los números "1" y "2" corresponden a los puntos de medición de temperatura. Fuente: Google Earth 2019.

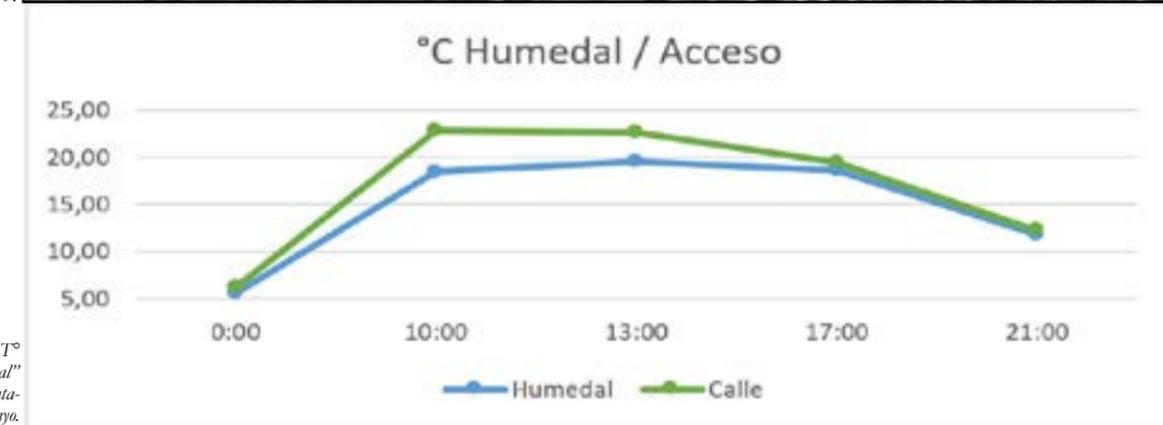


Figura 2.1 "Comparación Preliminar T° Humedal Natural"
Elaboración Propia en base a datos levantados durante el mes de mayo.

días de 57% de humedad relativa en el mes de enero y una temperatura media de 20,6°C, contrastándose con Julio, que presenta medias de 84% de humedad relativa y temperaturas de 8,4°C. (Weather Atlas, 2019)

Debido a esto, los humedales se regulan térmicamente de manera natural evaporando aguas durante el verano y disminuyendo su efectividad durante el invierno en una relación directa con la humedad relativa del ambiente, recordando que la evaporación de aguas absorbe energía calórica del medio, produciendo enfriamiento.

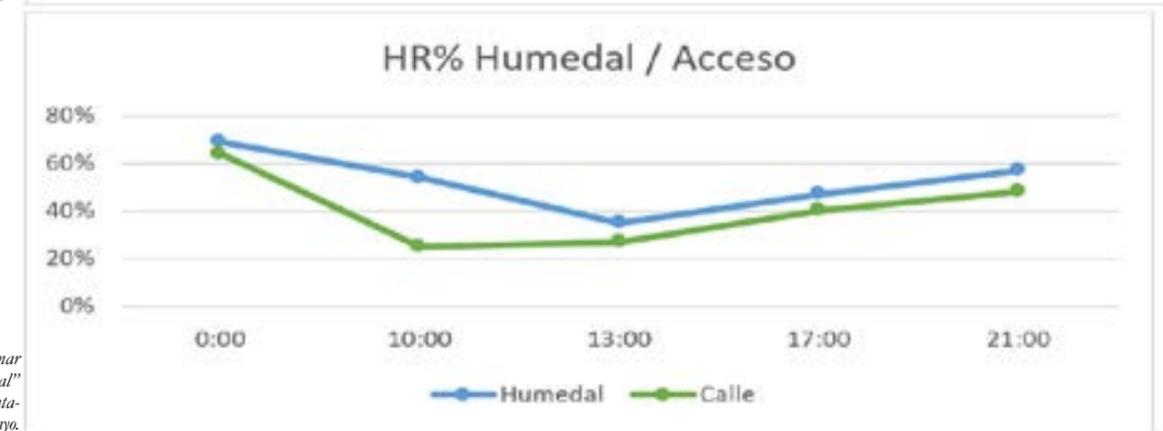


Figura 2.2, "Comparación Preliminar HR% Humedal Natural"
Elaboración Propia en base a datos levantados durante el mes de mayo.

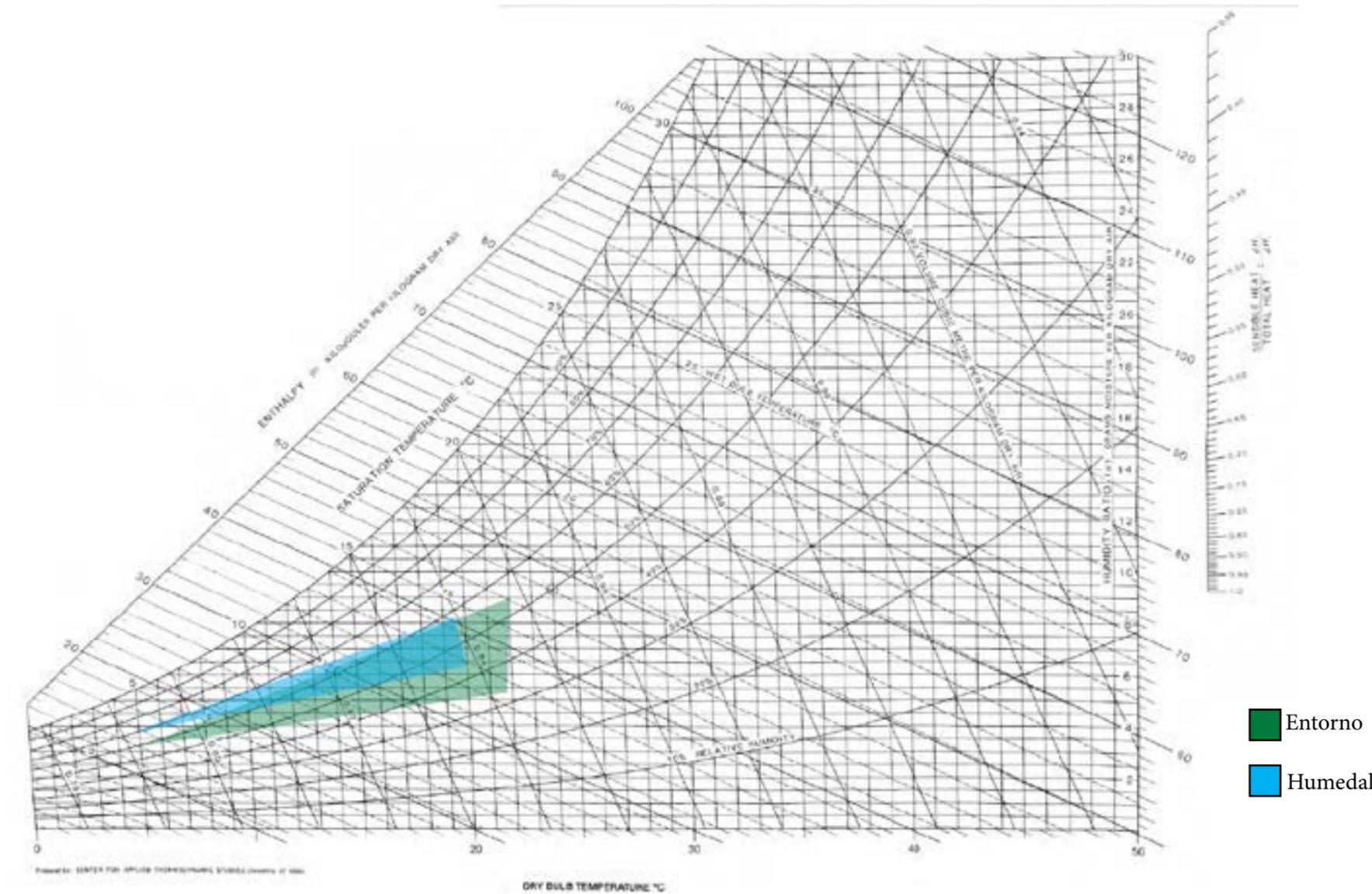


Figura 2.3, "Tabla Psicométrica Comparativa Humedal Natural"
Elaboración Propia en base a datos levantados durante el mes de mayo.

2.1.3 Levantamiento de Flora

Con el motivo de replicar el sistema de manera artificial sin insertar especies externas que pueden responder a otras condiciones, se levantó la flora que existía en el humedal y esta detallada en este capítulo (Figuras 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5)

1. Hydrocotyle Ranunculoides

Planta acuática nativa chilena típica de cursos de aguas y humedales, se encuentra en Chile entre la IV Región y la IX Región con alturas desde 500 msnm hasta 2000 msnm. Resiste heladas no prolongadas. Planta con valor ornamental. (ChileFlora, 2007)



Figura 2.1.3 "Hydrocotyle Ranunculoides"
Fuente: Elaboración Propia

2. Nasturtium Officinale

Planta acuática introducida en Chile, también conocida como "Berro". Posee cualidades medicinales y ha sido reconocida históricamente por esto. Se encuentra a lo largo de todo el país con excepción del sur Austral. Originaria de Europa y Asia Central, es una planta culinaria de consumo doméstico. (s. f.)



Figura 2.1.4 "Nasturtium officinale"
Fuente Elaboración Propia, herbies-herbs.com

3. Veronica anagallis-aquatica

Planta acuática originaria de Europa que hoy se aprecia en todo el globo. Típica de humedales y cursos de aguas, crece como maleza y presenta hojas con margen dentado. Crece desde el nivel del mar hasta 2100 metros de altura. Soporta sequías de suelo. Se encuentra a lo largo de todo Chile con excepción de las zonas desérticas y el sur austral.



Figura 2.1.5 "Veronica anagallis-aquatica"
Fuente: Elaboración Propia, plantasflores.com

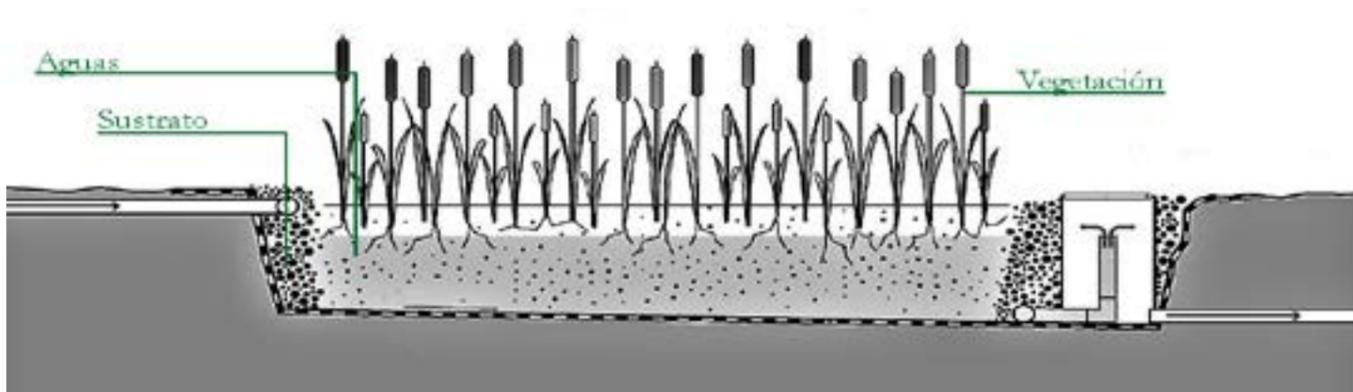


Figura 2.2.1, Humedal de flujo Subsuperficial
Fuente: (Elizabeth Tillet et al., 2018)



Figura 2.4, "Lenteja de Agua"
Fuente: Amazon.com

2.2 Humedales Artificiales.

2.2.1 Descripción General

Los humedales artificiales son sistemas que emulan el ecosistema de un humedal natural con el fin de depurar aguas para su reutilización por medio de los procesos físicos, biológicos y químicos naturales de los mismos.

Se pueden establecer tres factores predominantes en el sistema:

- El Sustrato, como soporte para la vegetación y población micro bacteriana, además de filtrar las aguas de grandes residuos presentes en ella.
- La vegetación, constituido principalmente de plantas macrofitas, hace referencia a plantas que viven en terrenos inundados y establecen una íntima relación con el agua disponible en el lugar. Comportándose también como soporte para la vida micro bacteriano y siendo el principal factor de eliminación de residuos en el agua, ya que sirven como nutrientes para su desarrollo. En su funcionamiento natural, estas plantas evaporan agua por sus extremidades superficiales.
- El agua, debido a que no se encuentra en su estado puro, debe incluir desechos para las plantas y debe estar exenta de detergentes y jabones que puedan dañar la vida micro bacteriana y la vegetación.

En donde la principal diferencia radica en que el agua tiene un contacto con la superficie o está completamente cubierta con vegetación y sustrato.

Los humedales son capaces de:

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.
- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato. A lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.
- Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.
- Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.
- Eliminación de metales pesados como cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.

(Shi, Zhang, Lui, Zhu, & Xu, 2011)

El tamaño de los sistemas tiene directa relación con el perfil de uso donde se instalara, principalmente con la cantidad de aguas grises generadas por el edificio.

Sin embargo, la escasez hídrica proyectada a nivel global ha impulsado la generación de tecnologías de grifería eficientes que logran disminuir la cantidad de aguas grises generadas en el edificio, por lo que se puede proyectar una disminución de la superficie de humedales necesarias para satisfacer las necesidades.¹

¹ La plataforma Ecolinea (<http://ecolinea.cl/>), dedicada a vender y asesorar en productos para el hogar de eficiencia hídrica, como grifería eficiente, indica que se puede obtener hasta un 60% - 70% de ahorro con respecto a sistemas convencionales, con una media de 40%. (Consultado en noviembre de 2019)

2.2.2 Levantamiento de Datos

Con fines preliminares, se estudió el comportamiento de un humedal natural inserto en una vivienda en Lo Barnechea para observar si los procesos de regulación térmica presentes en el humedal natural se replicaban al artificial.

La vivienda elegida tiene una distancia de 1.100 metros del humedal natural estudiado, con el fin de que sean comparables ya que comparten cualidades climáticas.

El humedal artificial está inserto en una pileta circular de radio 75 cm, con 40 cm de profundidad, cubierto en su totalidad por Lemna minor, o lenteja de agua (Ver Figura 2.4), una planta acuática macrofita pequeña que crece de manera horizontal, sin grandes alturas por sobre la superficie.

El levantamiento preliminar se llevó a cabo con un Data Logger Termometro Higrometro TFA Klimalogg PRO sobre un poliestireno expandido para evitar transmisión de temperatura desde el suelo a las 00:00, 9:00, 13:00, 17:00 y 20:00, tomando como referencia la temperatura registrada en el patio de adoquines al lado de la pileta para poder comparar datos.

Se puede observar que el comportamiento del humedal con respecto a su relación de humedad relativa (Figura 2.6) y delta de temperaturas (Figura 2.5) es similar al humedal natural, pero su magnitud se ve alterada debido a las diferencias de tamaño entre ambos sistemas.

Comprobándose las cualidades refrigerantes del sistema (Figura 2.7), surgen dudas al respecto del mismo, preocupa de manera preliminar el exceso de refrigeración que pudiese generarse, sobre todo en invierno, donde Santiago presenta temperaturas cercanas y bajo los cero grados.

Para esto, se estudió el comportamiento del mismo humedal durante una semana de bajas temperaturas y precipitaciones (Figura 2.8), la semana escogida fue del 27 de mayo hacia el 2 de junio de 2019, que reporto el siguiente clima según la dirección de meteorología de Chile:

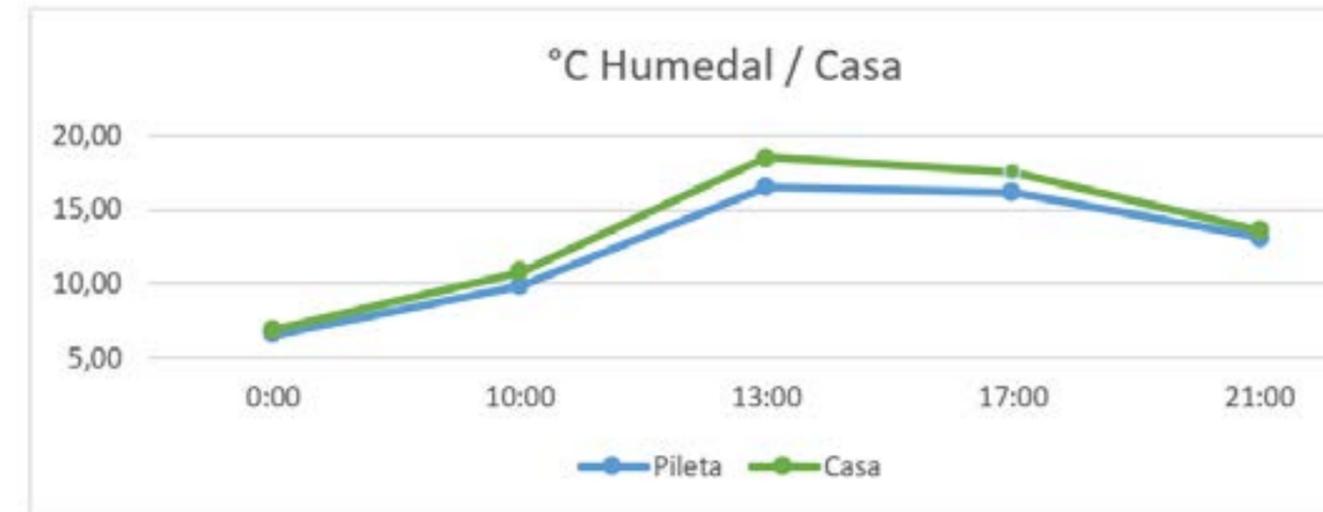


Figura 2.5, "Comparación Preliminar T° Humedal Artificial"
Elaboración Propia en base a datos levantados durante el mes de mayo.

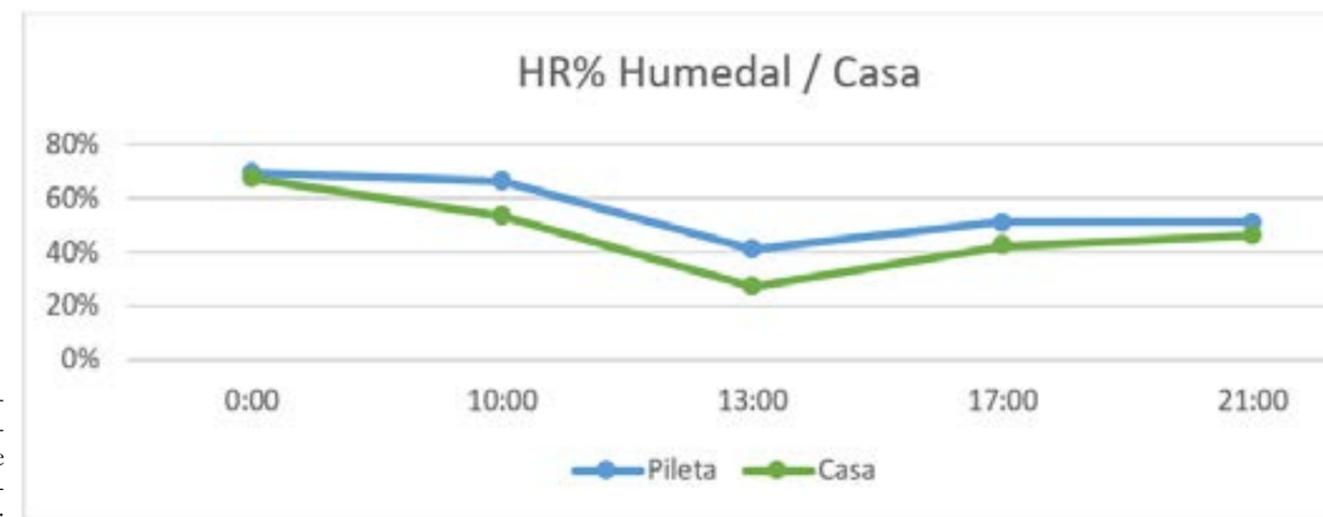
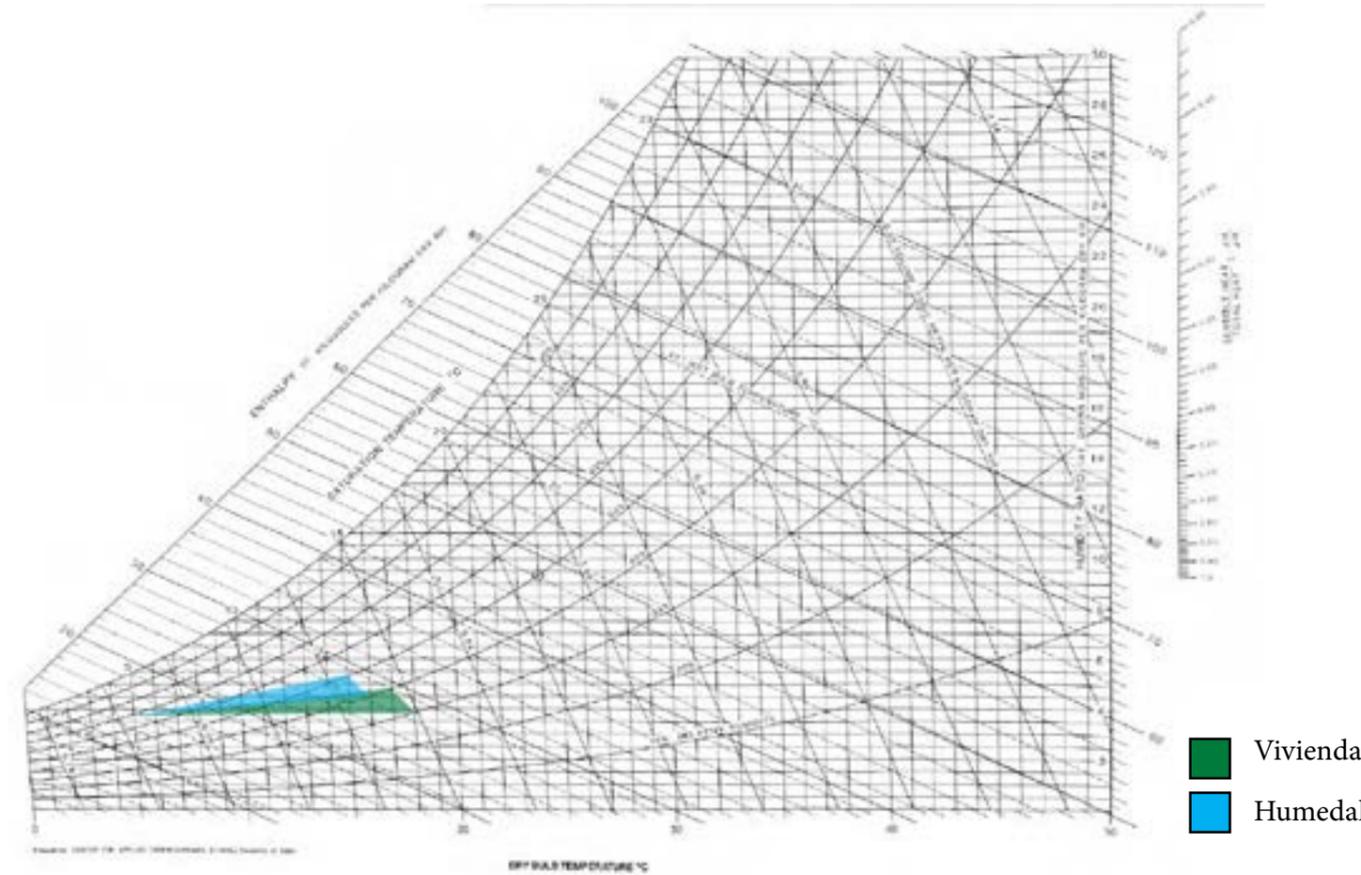


Figura 2.6, "Comparación Preliminar HR% Humedal Artificial"
Elaboración Propia en base a datos levantados durante el mes de mayo.

Existen dos tipos, los superficiales y los sub-superfi-

Figura 2.7, "Tabla Psicrométrica Comparativa Humedal Artificial"
Elaboración Propia en base a datos levantados durante el mes de mayo.



■ Vivienda
■ Humedal

Día	T°C MAX PROMEDIO	T°C MIN PROMEDIO	T°C PROMEDIO	HR PROMEDIO %	PP DIA (mm)
27-may	17	8	12	46%	4,7
28-may	19	8	13	36%	0
29-may	14	12	13	44%	1
30-may	16	10	13	59%	1,2
31-may	16	8	11	51%	2,5
01-jun	18	7	11	39%	0
02-jun	19	8	13	33%	0

Figura 2.8 "Tabla Climática 27 Mayo – 02 Junio"
Fuente: (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

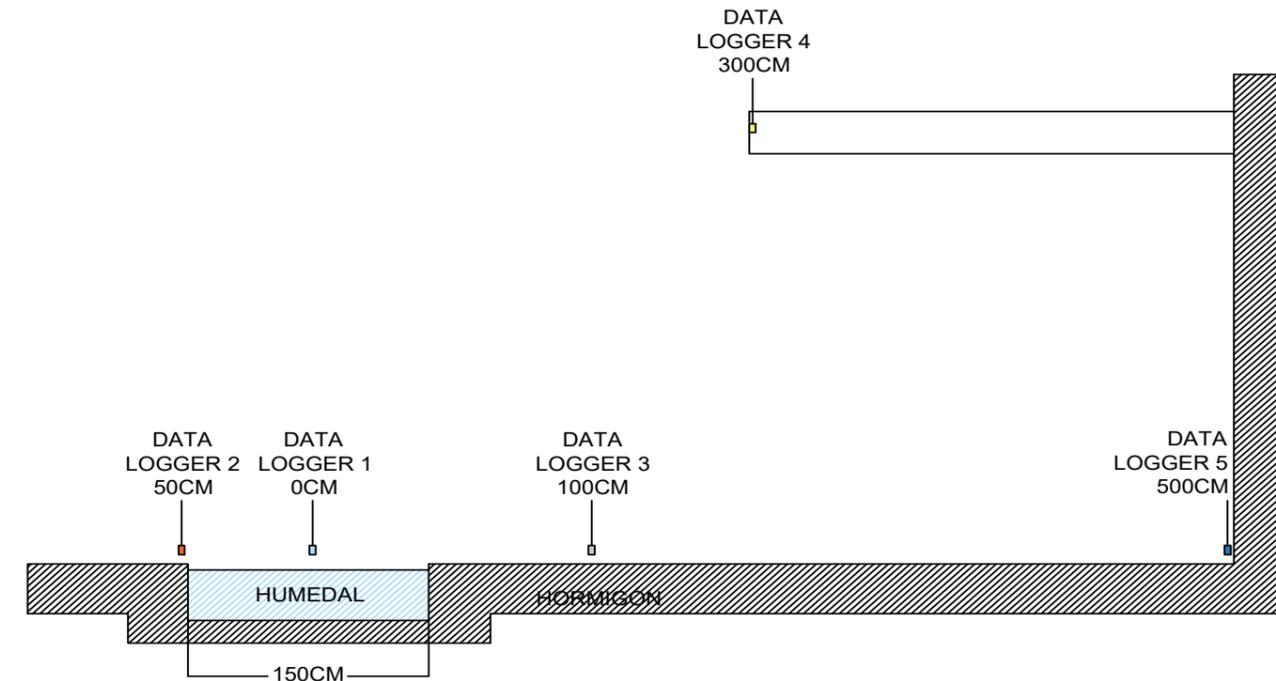


Figura 2.9 "Posición Data – Loggers"
Elaboración Propia

La semana presentó las primeras precipitaciones considerables de Santiago, con mínimas registradas en las mediciones de 2,1°C y máximas de 17,9°C, 73% de humedad relativa promedio y 8,9°C promedio durante la semana.

Existió presencia de precipitaciones en forma de granizo y abundante líquido, acompañado de fuertes vientos.

El experimento se llevó a cabo por medio de la implantación de medidores de temperatura y humedad (Data Loggers) a ciertas distancias del humedal, como se especifica en la figura 2.9.

Los Data Loggers se protegieron del contacto directo con la lluvia y la masa térmica, con el fin de conseguir mediciones más exactas con respecto a las condiciones del aire circulante de él.

Durante las mañanas, un pequeño rayo de sol colisionaba con la protección del Data Logger 5, generando alteraciones en sus mediciones, por lo que sus resultados no fueron incluidos en los gráficos de temperatura.

En el gráfico de temperaturas (Figura 2.9.1) se puede observar, de manera general, que a medida aumentan las temperaturas, la diferencia entre el humedal y el punto más lejano es mayor, llegando a un máximo de 2,5°C de diferencia en las máximas temperaturas.

Se puede observar también, sin embargo, que en las horas de menor temperatura, el efecto se invierte, siendo el humedal el punto con mayores temperaturas y las cercanías a este los puntos con menores temperaturas.

En el punto de menores temperaturas observable en el gráfico, existen 2,6°C de diferencia entre el centro del humedal y su borde a 50 CM, esto probablemente sea ocasionado por el contacto con el hormigón que actúa de masa térmica y retiene la refrigeración producida por el humedal durante el día. A pesar de esto, el borde del humedal se mantiene a las mismas temperaturas que aquellos más lejanos al humedal.

El punto de inversión se genera alrededor de los 8°C: bajo

esa línea el humedal tiende a tener temperaturas más altas que el medio, y sobre esa línea tiende a tener temperaturas menores.

Con respecto a las humedades relativas (Figura 2.9.2), se puede observar que el humedal mantiene los mayores índices en todo momento, seguido proporcionalmente según la distancia.

Esto viene a complementar los resultados discutidos anteriormente y se puede establecer que los humedales artificiales poseen índices de humedad relativa mayores al entorno y que funcionan como amortiguador térmico, refrigerando frente a las altas temperaturas y calefaccionado en las bajas, con una temperatura de división de 8°C a 70% de HR.

Desde este punto de vista, los humedales artificiales pueden dialogar con la arquitectura y el diseño para obtener una regulación térmica pasiva además de las cualidades hídricas que poseen.

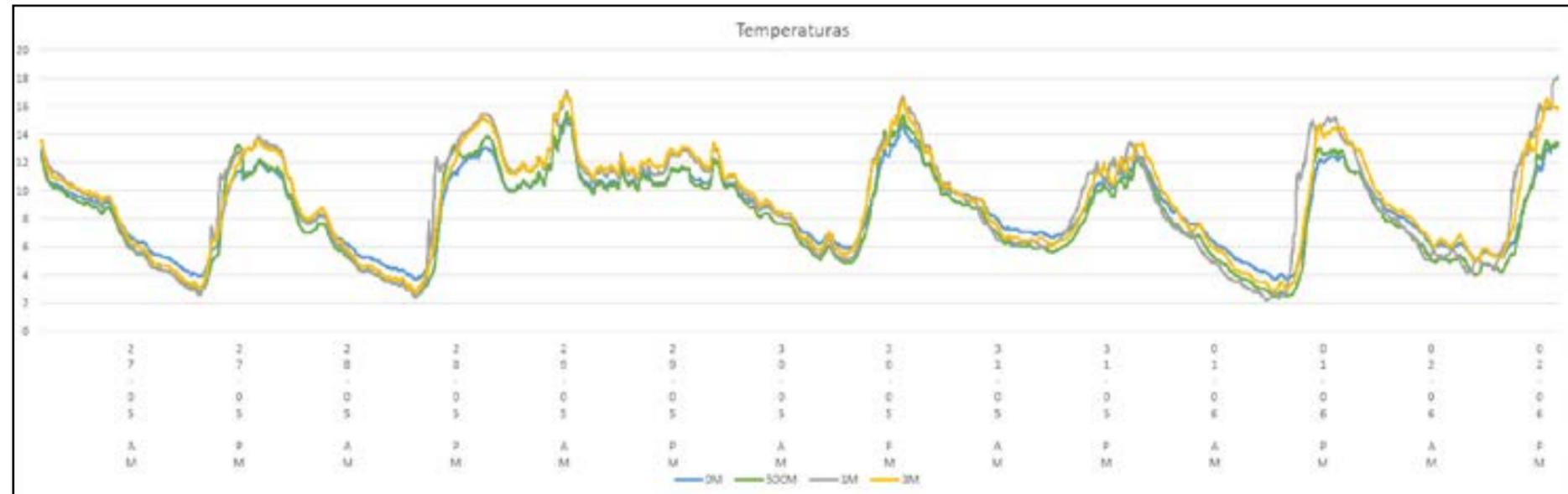


Figura 2.9.1, "Grafico Comparativo Temperaturas Humedal"
Elaboración Propia, para mayor resolución ver en Anexo.

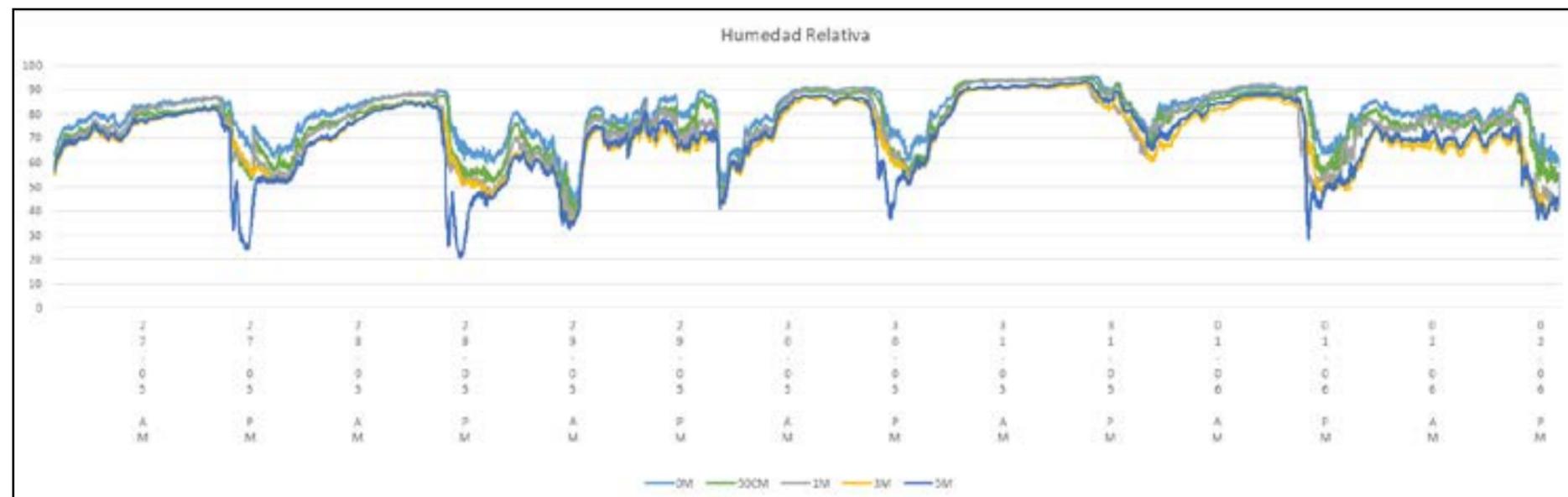


Figura 2.9.2, "Grafico Comparativo Temperaturas Humedal"
Elaboración Propia, para mayor resolución ver en Anexo.



Caso de Estudio



Figura 3.1.4. "Urbanización Los Trapenses"
La imagen demuestra los tipos de urbanizaciones presentes en el barrio, con grandes cantidades de áreas verdes y viviendas similares entre ellas. Fuente: GoPlaceIt.Com

3.0 Caso de Estudio: Barrio Los Trapenses

3.1 Estándares Sustentables de Vivienda.

Existen varios estándares sustentables para viviendas a niveles académicos, legislativos y económicos. Estos apuntan de manera general a disminuir la cantidad de energía consumida por la vivienda en distintos ámbitos, potenciando la eficiencia por medio de la utilización de nuevas tecnologías, estrategias de diseño contemporáneas y vernáculas, con el objetivo de disminuir el impacto ambiental (en términos de liberación de gases de efecto invernadero) que supone la vivienda para el medio.

El Net Zero Building es un término aplicado a edificios con un consumo neto de energía menor o igual a cero por medio de estrategias de producción y manejo energético.

Existen varias tipologías de edificios Net Zero Energy y distintas clasificaciones, que van desde la escala del edificio a la cantidad de variantes energéticas que este se hace cargo: "Un edificio energéticamente eficiente, en donde, observando la energía cuantizable con fuentes en redes urbanas, la cantidad exportada es igual o mayor a la importada" (National Institute of Building Sciences, 2015)

El gobierno de Chile se ha hecho cargo de esta área a nivel normativo por medio del Manual de Construcción Sustentable, desarrollado por el MINVU (disponible en <https://csustentable.minvu.gob.cl/>, consultado el 2019), que recopila distintas estrategias subdivididas en zonas tér-

micas que se acoplan a todos los climas del país, además de estrategias comunes de manejos de aguas y protecciones solares.

Este manual también es una sugerencia de actualización a la norma vigente de construcción en el país (Nch2251, Artículo 4.1.10 O.G.U.C) presentando valores de aislación térmica y contractibilidad más desarrollados que los existentes, además de hacerse cargo de problemáticas no estipuladas en la norma como infiltraciones por aire, protecciones solares, masa térmica, uso eficiente de aguas, diseño solar, entre otros.

3.2 Contextualización, descripción y problemáticas del Barrio Los Trapenses

Se ha escogido el barrio de Los Trapenses, en la comuna de Lo Barnechea como caso de estudio debido a ciertas particularidades del barrio por sobre otros del sector oriente de Santiago.

A 16 kms del centro de Santiago, al Nororiente se encuentra el barrio de Los Trapenses, un terreno de 12km² caracterizado por albergar un porcentaje de las clases socioeconómicas más altas del país, por estas razones es que las viviendas poseen dimensiones superiores al promedio.

Las particularidades por las cuales se ha decidido elegir este como caso de estudio tienen que ver con la geografía específica del barrio y su contexto inmobiliario: Su altura promedio de 929 msnm y su condición precordillerana generan que el barrio este rodeado por cordones montañosos que se han ido habitando a través de los años, la región de Lo Barnechea ha visto una explosión demográfica en la última década (Ver figura 3.1) (40% de crecimiento, mientras la región mantiene un 20% según el Censo2017). Esto ha generado una acelerada urbanización del barrio, dejando grandes proyectos de viviendas con fines comerciales que no se adaptan a los ecosistemas locales y los deterioran con el tiempo, dañando la rica hidrografía que posee la comuna por su cualidad precordillerana.

Debido a su geografía precordillerana, el barrio se puede encontrar sobre o cercano a un sinfín de quebradas, humedales, esteros y lagunas que han visto sus redes hidrológicas comprometidas y por lo tanto casi desaparecido (Ver Figuras 3.1.1 y 3.1.2), pero la construcción inmobiliaria no está cerca de detenerse, tomándose terrenos cada vez más difíciles de acceder para implementar un paisajismo externo que tiene altos costos para la tierra como para la sociedad.



Figura 3.1 "Urbanización Lo Barnechea 2004-2019"
Corresponden a UNA imágenes satelitales en donde se destaca el área urbanizada de 2004 en color y dibujado en verde el área urbanizada hacia el 2019. Fuente: GoogleEarth

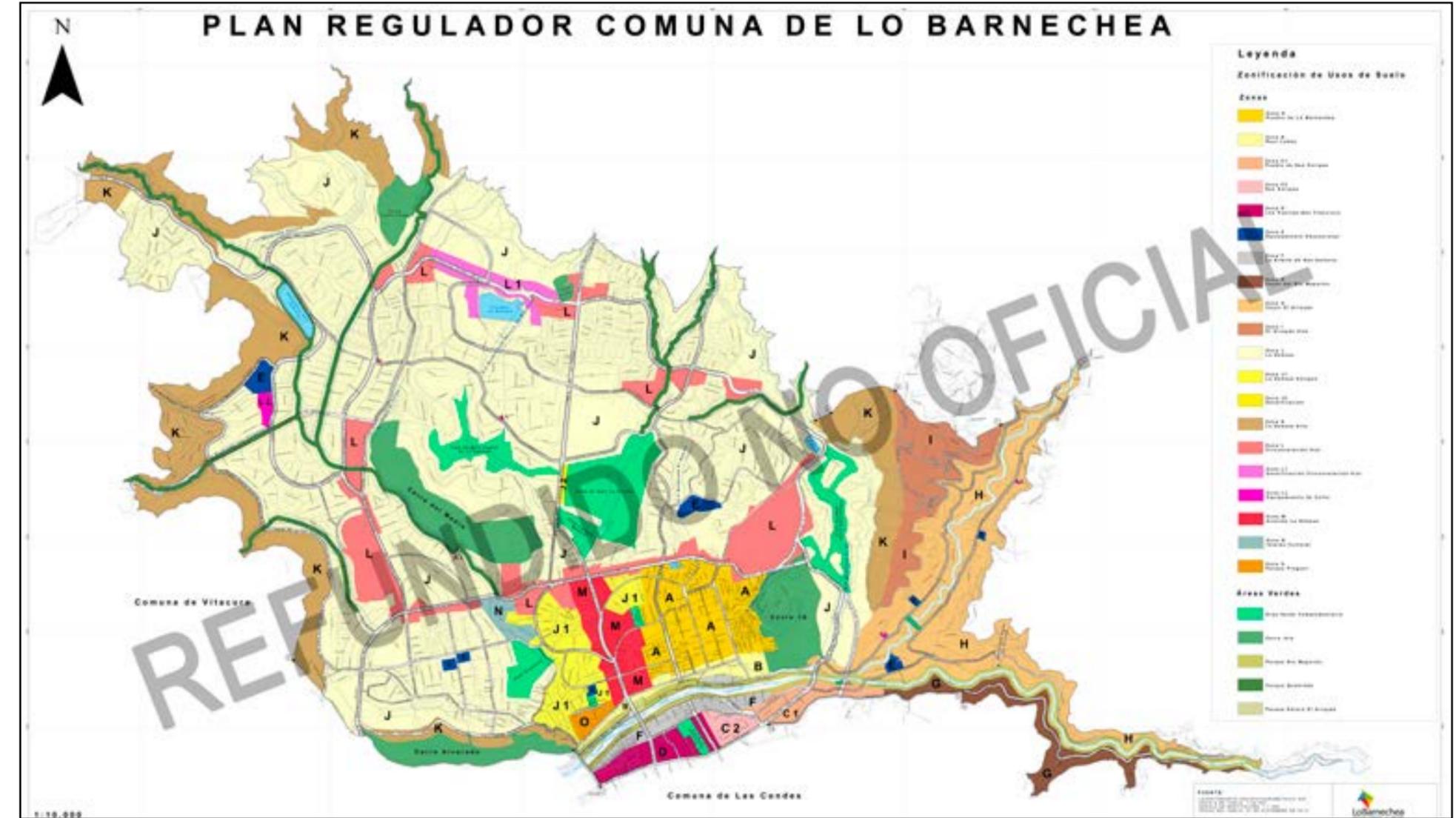


Figura 3.1.1, "Plano Regulador Lo Barnechea, Encuadre Los Trapenses Norte"

Al observar el último plan regulador de lo Barnechea, se pueden observar que en el sector norte de los Trapenses existen 2 grandes cuerpos de aguas. (Graficados en celeste) Fuente: Municipalidad Lo Barnechea

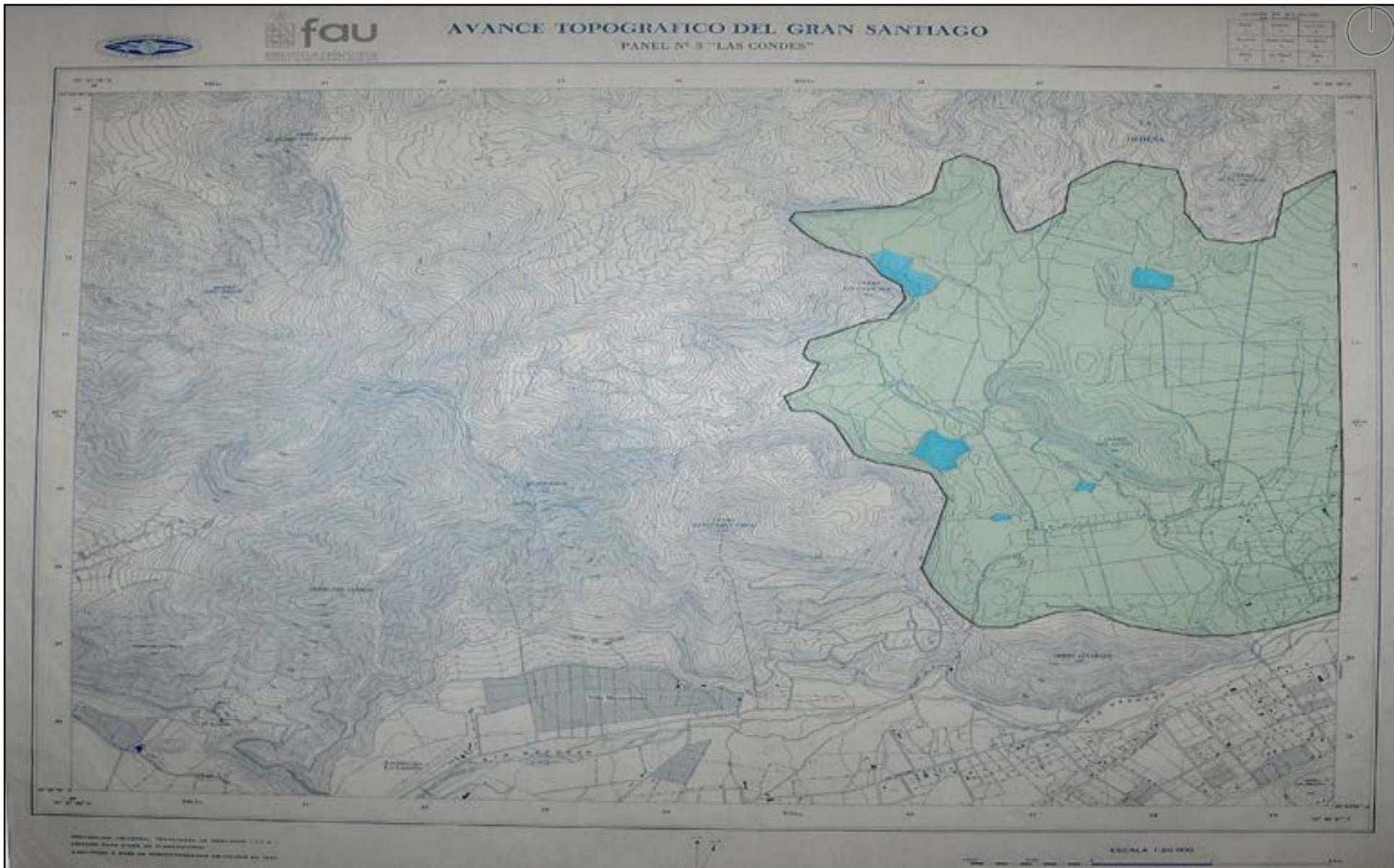


Figura 3.1.2, "Avance topográfico del Gran Santiago 1960, Encuadre Los Trapenses"

Se destaca en verde el sector urbanizado de la comuna de La Barnebea. Se pueden observar que 5 grandes cuerpos de agua, en el actual plan regulador, solo se observan 2 (Figura 3.1.1), denotando que estos han sido drenados o rellenados para el desarrollo urbano.

Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 1960)

Más allá de las problemáticas de protección de ecosistemas que ya fueron destruidos, se han llevado a cabo proyectos inmobiliarios en zonas inundables y de suelos rellenados, que bajo un episodio de grandes precipitaciones presentan peligros de inundación.

Por otra parte, el barrio cuenta con una alta cantidad de áreas verdes tanto públicas como privadas, predominando un paisaje introducido con grandes cantidades de césped, situación que lo convierte en uno de los barrios con mayor consumo de agua por persona en el país.

A modo de referencia, se levantó utilizando GoogleEarth, la plataforma TocToc.com, PortalInmobiliario e información disponible en las páginas web de los proyectos, los tamaños de algunas viviendas del barrio (Figuras 3.2 y 3.2.1), todas corresponden a condominios de viviendas desarrollados o en desarrollo con casas tipo, es decir, que la información levantada se puede aplicar para todas las viviendas del condominio, ya que todas las viviendas se construyen a partir de una planimetría tipo. El número de viviendas por condominio suele estar entre 5 y 25.

Si bien el censo indica que el promedio de habitantes por vivienda en la comuna es de 3,2, debido a las particularidades del barrio se llevó a cabo una encuesta a 128 viviendas del barrio, con el fin de levantar datos al respecto de habitantes por vivienda, piscinas y áreas verdes privadas.

Para realizar la encuesta se elaboró un formulario digital que fue difundido por medio de redes sociales de agrupaciones vecinales del barrio, en donde la primera pregunta era "¿Vives en el barrio de los trapenses?" No se tomaron en cuenta para los gráficos aquellas encuestas en donde la respuesta era "No".

Figura 3.2 "Tabla Levantamiento Viviendas Los Trapenses" Elaboración propia en base a datos obtenidos en GoogleEarth, TocToc.com, PortalInmobiliario.cl y las páginas web de algunos proyectos (Socovesa.cl, LosLitres.cl, Lomalacruz.cl)

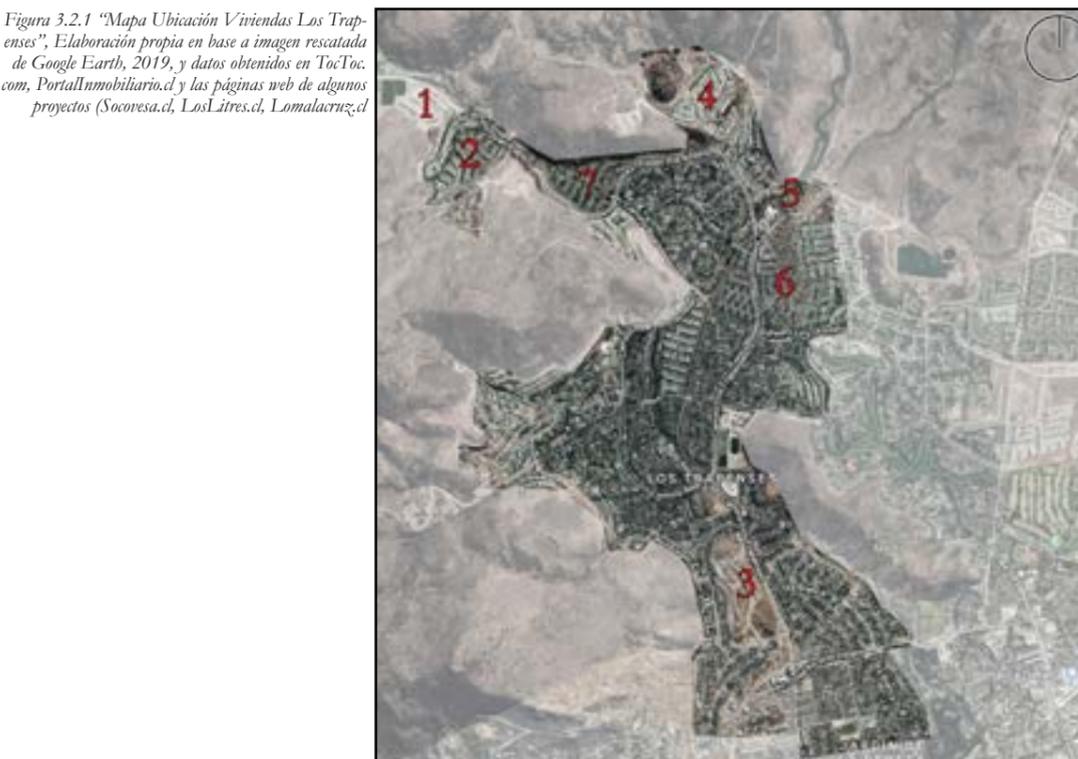
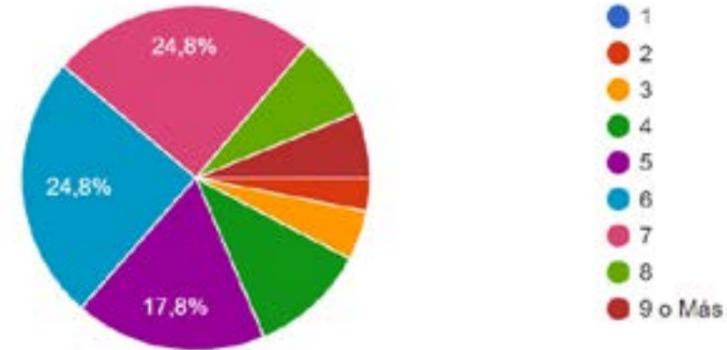


Figura 3.2.1 "Mapa Ubicación Viviendas Los Trapenses", Elaboración propia en base a imagen rescatada de Google Earth, 2019, y datos obtenidos en TocToc.com, PortalInmobiliario.cl y las páginas web de algunos proyectos (Socovesa.cl, LosLitres.cl, Lomalacruz.cl)

Conjunto de Vivienda	Tamaño terreno	Áreas Verdes	Piscina	Metros Construidos	Dormitorios
1.Alto Los Bravos	730m ²	283m ²	27 m ²	140 m ²	3
2.Los Bravos	516 a 949m ²	225m ²	50m ²	198 a 267m ²	4
3.Loma La Cruz	783m ²	276m ²	27m ²	Desde 323m ²	5
4.Los Litres	670m ²	130m ²	30m ²	225 a 267m ²	3 - 4
5.Rio Puelo	370m ²	97m ²	14m ²	140m ²	3
6.La Represa	300m ²	50m ²	30m ²	200m ²	4

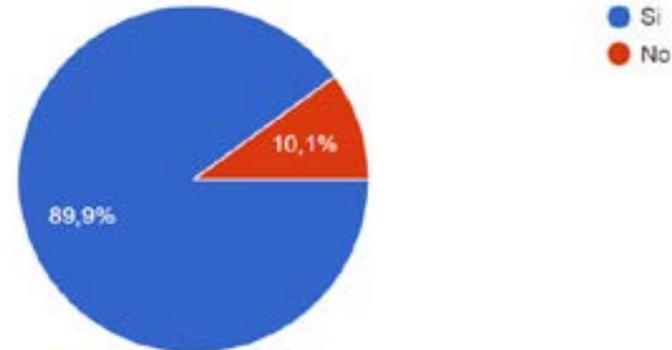
1. ¿Cuántas Personas habitan tu vivienda?

Figura 3.2.2 "Grafico Habitantes por Vivienda Los Trapenses"
Fuente: Elaboración propia.



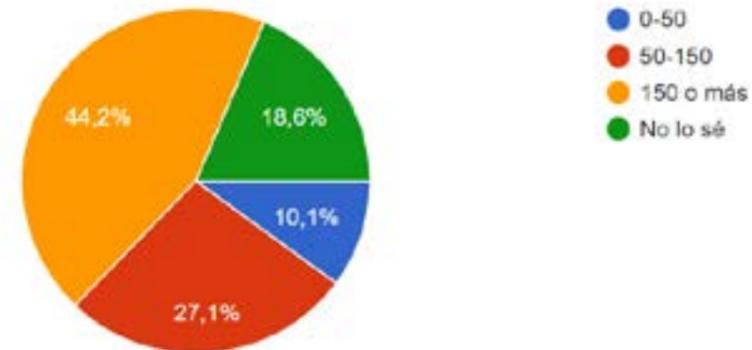
2. ¿Tu vivienda cuenta con piscina recreativa?

Figura 3.2.3 "Grafico Piscinas Viviendas Los Trapenses"
Fuente: Elaboración propia.



3. Cuantos metros cuadrados de pasto o césped con riego aproximados que hay en tu vivienda

Figura 3.2.4 "Grafico Área de Césped Regado por Vivienda Los Trapenses"
Fuente: Elaboración propia.



Los resultados nos dejan con un promedio de 5,93 personas por vivienda, en donde en ningún caso habitaban menos de dos personas por vivienda y aquellas viviendas con 7 habitantes o más son comunes. Los gráficos siguientes reafirman lo previamente expuesto: la gran mayoría de las viviendas cuentan con piscinas recreativas (Figura 3.2.3) y grandes áreas de césped regado (Figura 3.2.4), en donde también se puede concluir que existe una baja consciencia al respecto de este suceso que a nivel nacional es escaso, puesto que un 18,6% no sabe realmente de qué tamaño es su jardín.

3.2.2 Agua en el Barrio de Los Trapenses

El promedio de consumo de la ciudad de Santiago es de 170 Litros por Persona diarios, cifra que el Ministerio de Obras Publicas no considera grave pero tampoco eficiente, sugiriendo que esta puede ser disminuida sin alterar la calidad de vida. (Figura 3.2.5)

El sector oriente de Santiago sin embargo abarca cifras que si aparecen como graves, con cantidades entre 600 y 1100 Litros por persona diarios (Ortiz, 2019), el MOP califica esto como grave (Figura 3.2.5), recomendando la revisión de la instalación y costumbres. (SISS, 2019).

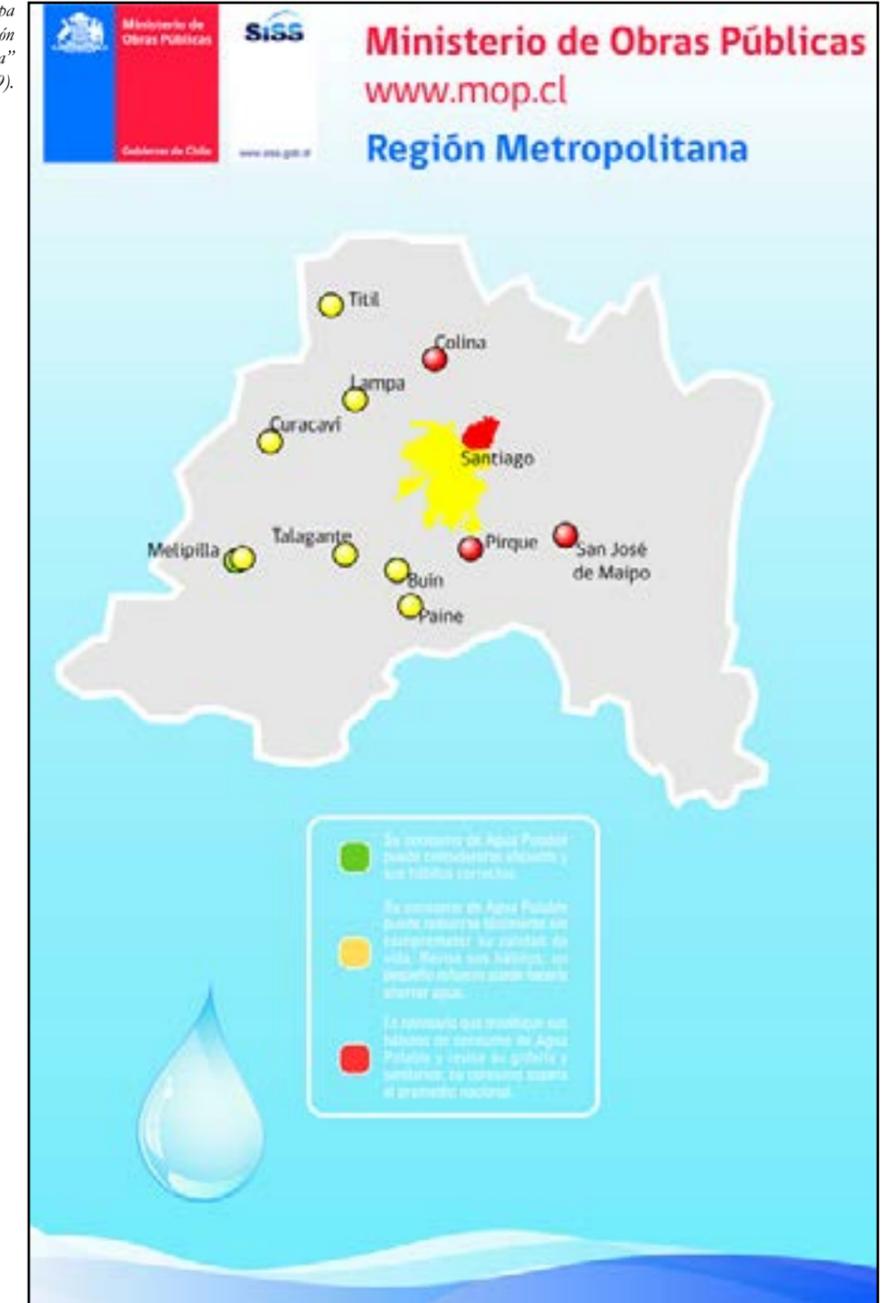
El estudio realizado por CEDEUS (Ortiz, 2019) relaciona estos altos consumos de agua potable con la mantención de riego, jardines y piscinas, situación que presenta una alta verosimilitud frente a los datos levantados en la encuesta realizada (Figuras 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4) ya que estas indican una alta cantidad de áreas verdes privadas. Al observar la figura 3.2.6 y relacionarla con la figura 3.2.4, se puede extraer que 100m2 de jardín ocupan 1000 litros diarios aproximados y en Los Trapenses el promedio levantado de las viviendas es 127m2 de jardín regado, por lo que se utilizan alrededor de 211 litros diarios por persona solo en mantención de áreas verdes, mientras que comunas de menores recursos utilizan alrededor de 50 litros totales por persona, denotando que este recurso al día de hoy es un lujo al que no toda la población puede acceder.

El manual de Agua para el Hogar, parte de la serie de consumo responsable, elaborado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, establece un promedio de consumo doméstico por persona distribuido en tareas:

Actividades	Litros aproximados
Lavarse las manos	2 - 18 litros
Lavarse los dientes	2 - 12 litros
Llenar la tina del baño	200 - 300 litros
Ducharse	80 - 120 litros
Poner una lavadora	60 - 90 litros
Utilizar el lavavajillas	18 - 30 litros
Lavar los platos a mano	15 - 30 litros
Vaciar el estanque (nuevos) del WC	6 - 10 litros
Vaciar el estanque (antiguos) del WC	18 - 22 litros
En la cocina y para beber	10 litros/día
Limpiar la casa	10 litros/día
Lavar el auto	400 litros
Regar 100 m² de césped del jardín	1.000 litros

Figura 3.2.6, "Manual Para el Hogar"
Fuente: (SISS, 2011)

Figura 3.2.5, "Mapa Consumo agua Potable Región Metropolitana"
Fuente: (SISS, 2019).



Con respecto a los gastos en piscinas, la industria internacional manufacturadora de piscinas POLY establece que el consumo diario promedio de una piscina ronda los 5 mm diarios, por lo que una piscina de 29m2 (Promedio según figura 3.2) consume 145 litros diarios, cifra que corresponde a 24 litros diarios por persona. (POLY Industries, 2018).

Sumando estos datos, tenemos un consumo de agua potable en mantención de jardines y exteriores de 243,7 litros diarios por persona en Los Trapenses, a los que habría que sumar el consumo dentro del hogar, situación que nos acercaría a los 768 litros que consumen según Ortiz.

Diversas entidades como la ONU y la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Figura 3.2.7) han propuesto un consumo ético y responsable frente a la sequía a la que se enfrenta el país y el globo, estableciendo un límite de 100 litros diarios por persona. La ONU propone que con esta cifra se pueden satisfacer todas las necesidades de consumo e higiene, y si añadimos sistemas de reciclaje de aguas grises, esta cifra puede hacerse cargo también de pequeñas áreas verdes. Esta situación refleja que el consumo de la comuna no es ético ni responsable.

Los sistemas de humedales artificiales permiten depurar las aguas grises de la vivienda para reutilización en riego (214,7 LT), piscinas (24,5 LT) e inodoros (49 LT con 7 usos diarios). Aunque la ley 21.075 actualmente no permite la reutilización de aguas grises para piscinas, piletas, árboles frutales ni inodoros, pero debido a la bibliografía que ha probado su eficacia y óptimo funcionamiento, este estudio omite estas regulaciones. Si restamos del total de 768 Litros por persona diarios tenemos 479 Litros por persona diarios de aguas grises reutilizables potenciales, de los cuales habría que restar un porcentaje en relación a los usos y cultura de la vivienda (aguas para cocinar, aguas muy contaminadas, aguas para consumo)

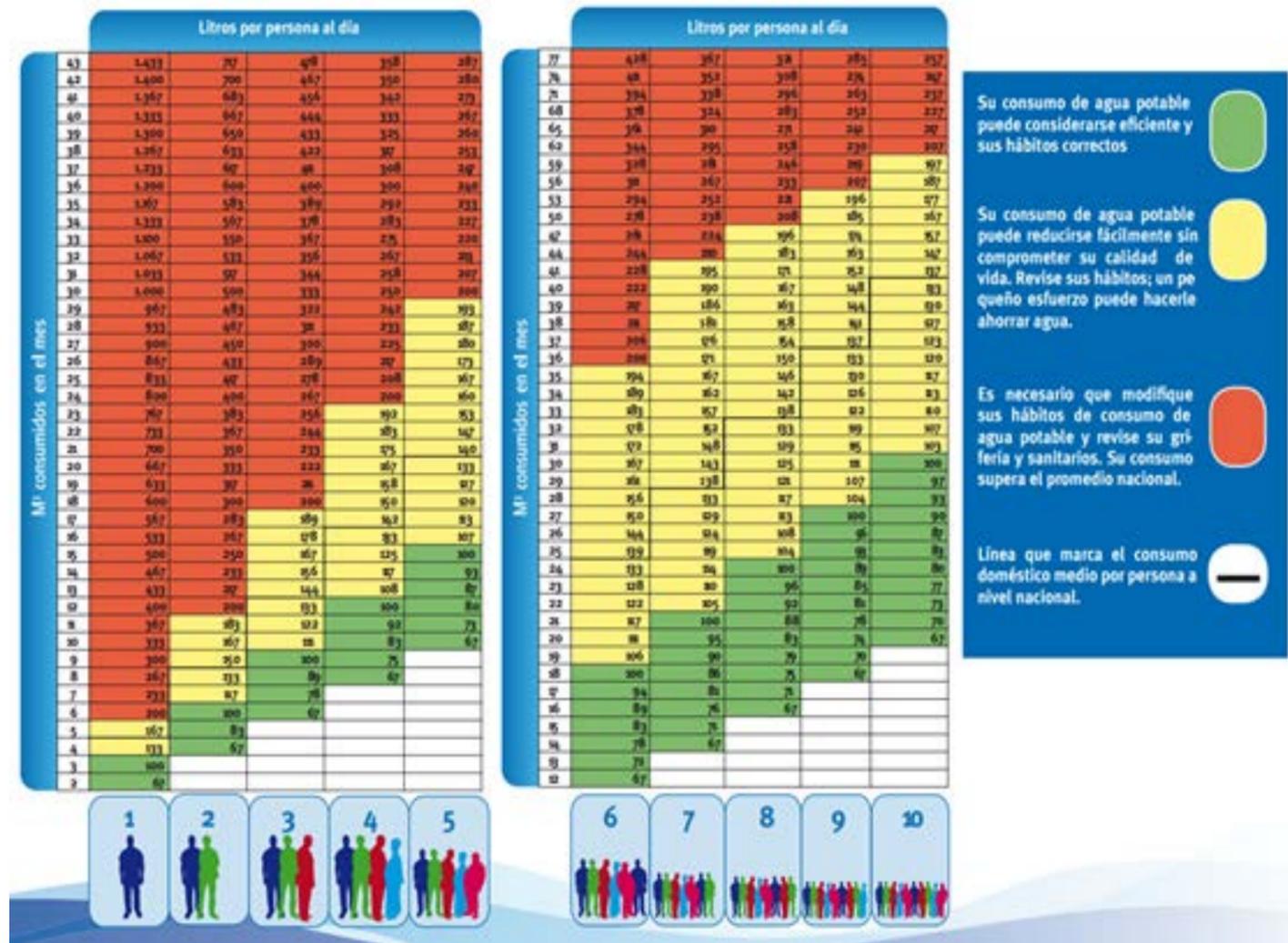


Figura 3.2.7, "Manual para el consumo Responsable"
Fuente: (SSIS, 2019)

Consecutivo a esto, la instalación de sistemas de griferías eficientes logra disminuir aún más el consumo de agua potable, disminuyendo el potencial de aguas grises disponibles y el consumo de agua potable.

Comprendiendo esto, el acercamiento a un consumo ético y responsable para las vivienda del barrio es inviable con el tamaño y las tipologías de jardín presente debido a sus altas exigencias hídricas. Sin embargo, la aparición de tipologías con especies endógenas, correspondientes a paisajes semiáridos locales si son posible en un consumo ético mediante la alimentación con aguas grises recicladas, que corresponde a 50 litros diarios aproximados.

Estos 50 litros de aguas grises se pueden tratar en distintas tipologías de humedales artificiales, para este caso se seleccionó un humedal de flujo sub-superficial (debido a la menor probabilidad de insectos y olores), estos humedales se pueden configurar de manera horizontal o vertical, dependiendo del área disponible. De manera horizontal se estima un área a razón de 5 a 10 m2 por persona, de manera vertical estos van de 1 a 3m2 (EULA, 2018). Estas variaciones tienen relación con la cantidad de radiación y el tipo de vegetación principalmente.

Sin embargo, es necesario hacer notar que el agua consumida para el riego de espacio público no está considerado en este cálculo, situación que podría aumentar bastante la cifra de consumo por persona, puesto que Lo Barnechea posee 13,55m2 de áreas verdes publicas por persona, que corresponden a 135 litros diarios que no son condiserados por este estudio (Chechilnitzky, 2019).

Consumo Total: 768 Lt
Consumo Jardín, Inodoros e Piscina: 288,2 Lt
Potencial Aguas Grises Reutilizables: 479,8 Lt

3.2.3 Energía en Los Trapenses

En base a información entregada por el INE (Instituto Nacional de Estadísticas) y el CNDU (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano), el diario LUN elaboro una tabla que muestra las comunas del país con mayor consumo energético anual per cápita.

Se puede observar que la comuna de Lo Barnechea se encuentra en quinto lugar, con un consumo anual per cápita de 1.422,32 kWh.

Esto significa un consumo diario promedio de 3,897 kWh.

Un consumo energético ético se puede desarrollar en torno al aporte energético generado por la vivienda por medio de energías renovables a la red centralizada, en el caso particular sería necesaria la generación de 1.422,32 kWh anuales por persona de energías renovables en la vivienda para cubrir su gasto energético.

El escenario climático proyectado para la ciudad de Santiago prevé una disminución de las precipitaciones (Schleifer, Reig, & Hofste, 2019), situación que se sintetiza en una mayor radiación solar anual en el sitio, generando un escenario fértil para el aprovechamiento de energías solares, puesto que el potencial eólico de la zona es bajo (Vientos promedios de 4 nudos según información de windfinder.com).

El ministerio de energía del Gobierno de Chile, en conjunto con la Universidad de Chile elaboró una herramienta digital para calcular las ganancias obtenidas por paneles fotovoltaicos y sistemas solares térmicos disponible en <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>. Esta herramienta utiliza datos climáticos reales para optimizar proyectar la generación de estos sistemas tomando en cuenta diversos factores como altura sobre el nivel del mar, precipitación, radiación mensual, inclinación e instalación de los paneles

y eficiencia de estos.

Los datos climáticos actuales que utiliza este sistema deberían dar resultados más bajos que el escenario en el que se encontrarán estos aparatos en los próximos años, debido al aumento de temperatura y radiación.

La herramienta sugiere que 1m2 de paneles solares fotovoltaicos es capaz de generar 253 kWh anuales en el barrio, dando un promedio de 0,69 kWh diarios, por lo que para satisfacer las necesidades locales se necesitan 5,65 m2 de paneles solares fotovoltaicos por persona.

En tanto al sistema solar térmico para agua caliente sanitaria, el explorador proyecta que para una vivienda de 5 personas un sistema (cuya medida estandarizada es de 2,7m2) alcanza a cubrir el 45,7% de la demanda de agua caliente sanitaria durante el mes más bajo (junio) y cifras cercanas al 100% durante el verano.

Sin embargo, debido a lo expuesto previamente en este documento, es esperable que la cantidad de energía consumida aumente en los siguientes años debido a la disminución de la demanda de calefacción de las viviendas (cuyo combustible principal es el gas natural, que no aparece en las facturas eléctricas y puede ser apoyado por la energía solar) y el aumento de la demanda de enfriamiento en las viviendas, que utiliza una gran cantidad de energía para su funcionamiento.

Esta situación, sin embargo, puede ser tratada desde la arquitectura por medio de la construcción bajo estándares de alta eficiencia energética, que son capaces de disminuir considerablemente la energía requerida por la vivienda para mantener una temperatura confort en su interior, siempre y cuando se utilicen estándares de construcción eficientes que respondan al clima proyectado en la región.

Comuna	Consumo anual per cápita (kWh/persona)
1 Providencia	1.716,88
2 Vitacura	1.696,19
3 Santo Domingo	1.536,37
4 Las Condes	1.444,22
5 Lo Barnechea	1.422,32
6 Puchuncaví	1.350,38
7 Santiago	1.247,87
8 La Reina	1.221,62
9 Ñuñoa	1.151,43
10 Concón	1.050,08
11 Olmué	1.024,36
12 San Miguel	1.010,34
13 Colina	1.009,01
14 Puerto Varas	979,04
15 Huechuraba	911,40
16 Pirque	906,37
17 La Cisterna	893,98
18 Concepción	882,47
19 Quinta Normal	864,65
20 Independencia	860,58
21 Recoleta	857,30
22 Iquique	850,35
23 Macul	847,60
24 La Florida	845,33
25 Machali	836,50

Figura 3.2.8. "Comunas de Chile con mayor consumo energético por persona"

Fuente: (LUN, 2019) en base a (CNDU, 2019).



Propuesta de Calculo

4. Cálculo Energético de un Humedal Artificial

4.1 Síntesis y propuesta de cálculo

La finalidad de este capítulo es estimar el potencial de regulación térmica que puede poseer un humedal artificial inserto en una vivienda para posteriormente maximizar su influencia por medio del diseño arquitectónico.

Ambos ejercicios se llevan a cabo utilizando métodos matemáticos y simulación software de la siguiente manera: (Ver figura 4.1)

En primer lugar, se necesita saber cuánta agua es evaporada por el humedal, ya que en este proceso es absorbido el calor del medio, para esto es necesario calcular la evo tran-

spiración de cultivo (capítulo 4.1.2) que tiene una directa relación con las condiciones climáticas y físicas del lugar, que alteran la cantidad de radiación incidente en el humedal (capítulo 4.1.3).

Una vez calculado el calor absorbido por el humedal, es necesario calcular cómo se comporta este calor, en el sentido de que un porcentaje ingresa a la vivienda y otro se fuga al exterior, todo bajo las variables de conductividad de los materiales de la vivienda, la forma de estos, el impacto climático y los procesos convectivos que ocurren en el proceso. (Capítulo 4.1.4)

Ya obtenido el impacto térmico del humedal en la vivienda, es necesario hacer iteraciones formales con el fin de acercarse a un modelo de máxima eficiencia, para esto se realizó un modelo del método de Montecarlo, específicamente el LHS: Latin Hypercube Sampling, que permite disminuir la cantidad de simulaciones realizadas sin perder precisión en los resultados (Lomas & Eppel, 1992) (capítulo 4.1.5)

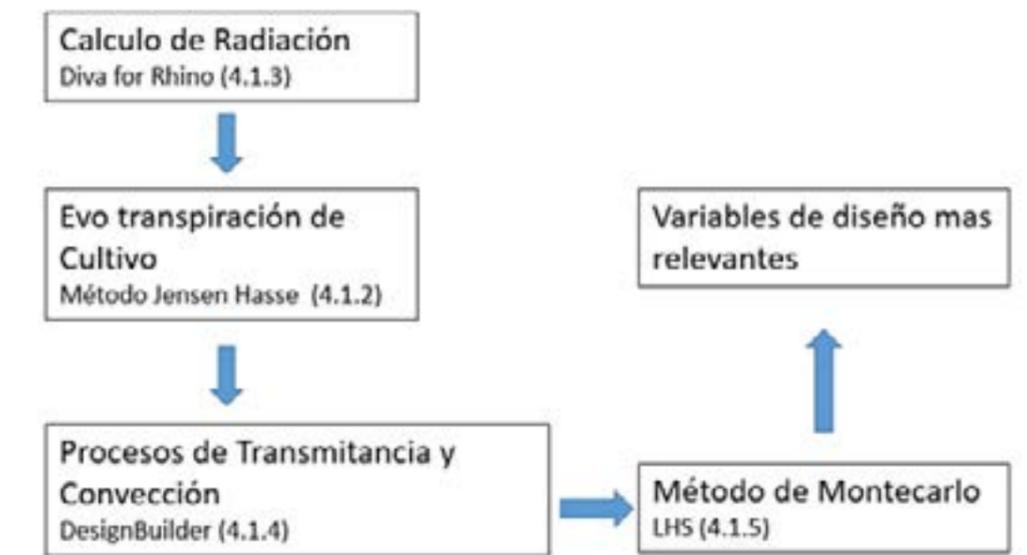


Figura 4.1 "Esquema método de cálculo"
Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Evo transpiración de cultivo

La evo-transpiración de un cultivo se refiere a la cantidad de agua evaporada por un cultivo y su suelo adyacente, es un término comúnmente utilizado en el área de la agronomía para determinar las necesidades de agua de un cultivo y su comportamiento evaporativo, expresado en mm por unidad de tiempo.

Debido a la cantidad de variables que actúan sobre un cultivo específico, se han elaborado distintas aproximaciones en torno a distintas variables (radiación, tipo de cultivo, zona climática, disponibilidad de agua, entre otros) con el fin de elaborar métodos para calcular la evo transpiración según distintas necesidades. (Sánchez Martínez & Carvacho Bart, 2011)

En el caso particular a estudiar, es de interés el término de Evo-transpiración Potencial (ETp) o Evo-transpiración de Referencia (ETo), que hace referencia a la cantidad máxima teórica de agua que puede evaporar un cultivo con disponibilidad máxima de agua, en diferencia a la Evo-transpiración Efectiva (ETr) que toma en cuenta variables de disponibilidad de agua y consumos específicos de cada cultivo. (Vladilo, 2010)

Esta selección se hace debido a que en los Humedales Artificiales la disponibilidad de agua para los cultivos es máxima y el tipo de cultivo utilizado se acerca mucho a los especificados en el ETo, que corresponden a Gramíneas o Alfalfa de 15 cm de altura. (Evapotranspiración Del Cultivo, 2006)

Existen diversos métodos para calcular la ETo según distintas variables, para este estudio se utilizara una variable del método propuesto por Jensen & Haise (Jensen & Haise, 1963), tomado por Rosenberg (Rosenberg, Blad, & Verma, 1983) que dicta lo siguiente:

$$ETo = R_s \times (0,025 \times T_m + 0,08)$$

Rs: Radiación Global Incidente, expresada en mm/día

Tm= Temperatura media

Sin embargo, estudios posteriores han adaptado el método según los estudios de Jensen-Haise para incorporar variables de presión atmosférica que inciden de manera notoria en los resultados (Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa 12. Nakuru, (Kenya); 22-26 Nov. 2004. Proceedings, 2004) dictando lo siguiente:

$$ETo = C_t \times (T_m - T_x) \times R_s$$

Rs: Radiación Global Incidente, expresada en mm/día

Tm= Temperatura media

Ct y **Tx** son variables según la presión atmosférica, resultantes de:

$$C_t = \frac{1}{38 - \frac{h}{152,5} + \frac{380}{e_2 - e_1}} \quad ; \quad T_x = -2,5 - 0,14(e_2 - e_1) - \frac{h}{550}$$

h= Altura (metros sobre el nivel del mar)

e1 y e2 son variables según la temperatura mínima y máxima respectivamente, resultantes de:

$$e = 6,108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot t}{t + 237,3}\right)$$

Al resolver la ecuación tomando los datos particulares del Barrio de Los Trapenses (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019) proyectados para el cambio climático, aumentando en 1,5°C (ONU, 2016), se puede despejar hasta obtener:

T°Media Máxima Anual: 20,05 °C

T°Media Mínima Anual: 9,15°

Altura: 1000msnm

e1= 11.5975 mbar

e2= 29.9288 mbar

Ct= 0.0191

Tx= -6.8845

$$ETo = 0.437R_s$$

Donde solo falta el valor de la radiación incidente para calcular la cantidad de agua evaporada.

4.1.3 Radiación Solar Incidente

La radiación Solar Incidente es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol que inciden en la superficie terrestre o en este caso, en el humedal artificial.

Existen varios métodos para calcular la radiación solar incidente, para este estudio utilizaremos un cálculo mediante simulación software que nos permite trabajar bajo dos variables claves en el estudio: Las condiciones climáticas observadas y la morfología particular del humedal y su entorno arquitectónico.

El Software Diva for Rhino, desarrollado por Solemma, utiliza datos climáticos regionales de EnergyPlus, otorgados por la Organización Meteorológica Mundial («Weather Data | EnergyPlus», 2019) para simular la radiación incidente en un modelo 3D elaborado en Rhino, un software de diseño asistido por computadora.

Este método permitirá obtener distintos datos de radiación para las distintas iteraciones de morfologías que se desarrollaran en este estudio (Ver Figura 4.1.3) con detalles sobre radiación promedio en un área y visualización de los puntos con mayor y menores índices.

Es necesario recalcar que para la elaboración tanto de las simulaciones en Diva for Rhino y DesignBuilder se utilizó un archivo de clima editado para calzar con las proyecciones climáticas de la ciudad de Santiago, para esto se tomó como archivo climático de base aquel entregado por la plataforma EnergyPlus y se le agregó un delta de 1,5° de temperatura extra según lo indicado por la ONU, además de disminuir levemente la humedad relativa (-3%) con el fin de intentar acercarse a el clima proyectado para Santiago en un periodo de 20 años. (Ver Figura 4.1.4.2)

También se agregó el grafico elaborado con el archivo original no editado (Ver Figura 4.1.4), con el fin de poder comparar ambas situaciones. Se recalca que en el clima actual las temperaturas nunca exceden los 38°C y estas bajan de los 0°C un 1% de las horas al año. En el clima proyectado las temperaturas exceden los 38°C un 2% de las horas al año y nunca bajan de los 0°C. Aumenta el sobrecalentamiento en un 14% y disminuyen las horas frías en un 17%.

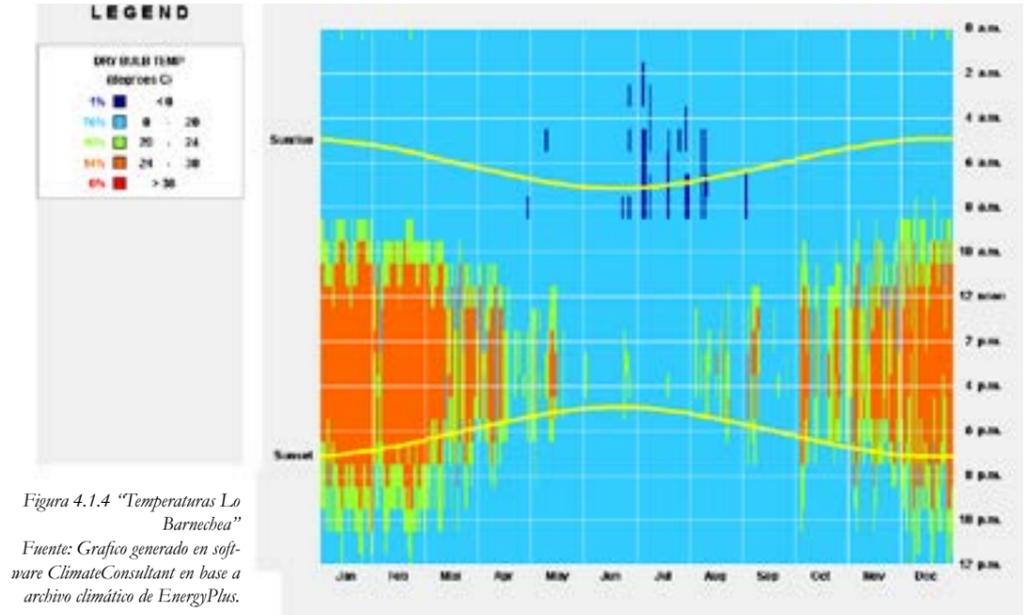


Figura 4.1.4 “Temperaturas Lo Barnechea”
Fuente: Grafico generado en software ClimateConsultant en base a archivo climático de EnergyPlus.

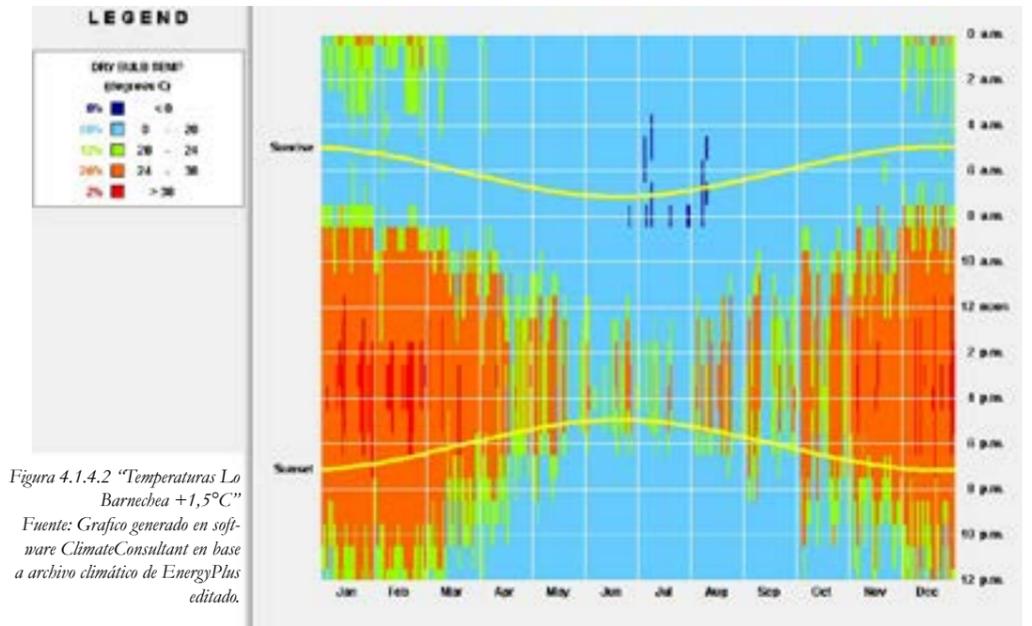


Figura 4.1.4.2 “Temperaturas Lo Barnechea +1,5°C”
Fuente: Grafico generado en software ClimateConsultant en base a archivo climático de EnergyPlus editado.

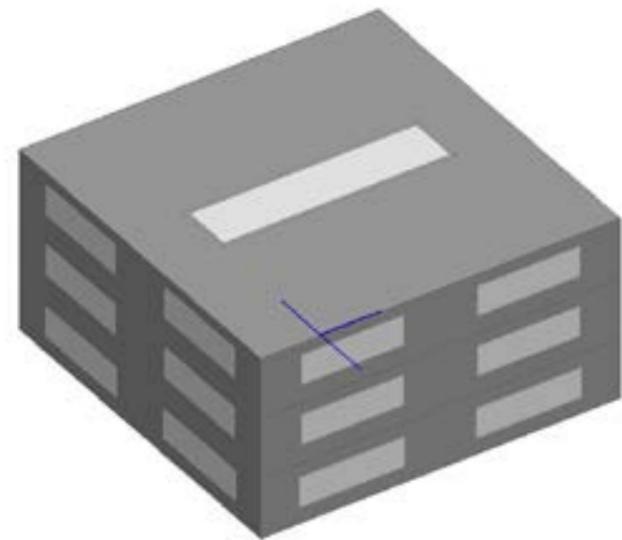


Figura 4.1.5 "Ejemplo Simulación 1 humedal, 3 pisos, 1:4 90°"
Fuente: Elaboración Propia

4.1.4 Convección y conducción

Una vez resueltos los pasos indicados previamente, obtendremos la cantidad de agua evaporada en mm/día/m² del humedal, por lo que podemos proceder a calcular la cantidad de calor absorbido por esta evaporación.

Para calcular la cantidad de calor absorbido, es necesario saber el calor latente de evaporación del agua, que depende de la temperatura del agua, para este estudio, se establecerá que la temperatura del agua será la misma que la temperatura interior del cultivo, que corresponde a 21°C (Helliker & Richter, 2008).

El calor latente de evaporación del agua a 21°C son 608.9 Wh/kg.

Con estos datos, tenemos la cantidad de energía absorbida por el humedal en m²/día, por lo que podemos proceder a calcular como influye este en la vivienda.

Los cálculos de convección y conducción se llevaran a cabo utilizando el Software DesignBuilder, desarrollado por DesignBuilder Software Ltd, que corresponde a una inter-

faz para el código de simulaciones energéticas EnergyPlus, desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos. (Ver ejemplo figura 4.1.5)

El software permite llevar a cabo simulaciones de consumo energético de edificios en base a datos climáticos observados o proyectados, personalizando variables como constructibilidad, ganancias internas, filtraciones y ventilación de aire, entre otros. La resultante a estudiar será el consumo energético en enfriamiento de la vivienda dividido en metros cuadrados de la misma, a partir de la única variable de la forma de disposición del humedal, que mantiene sus m² en todas las simulaciones.

De esta forma, podemos observar cual es el impacto del humedal y de la forma del humedal en el gasto energético de la vivienda.

Para la vivienda en las simulaciones se tomó como referencia la Reglamentación Térmica (desde ahora RT) del Artículo 4.1.10 del O.G.U.C., la norma vigente para regular la conductividad de la envolvente de un edificio en el país.

Según esta, el barrio de Los Trapenses se encontraría en la zona climática 3, que exige los siguientes valores para la envolvente:

Techumbre: U=0.47 W/m²K

Muros: U=1.9 W/m²K

Pisos Ventilados: U=0.70 W/m²K

Se utilizó para las aperturas vidriadas un valor U=3.6 W/m²K (correspondiente a un doble panel vidriado con cámara de aire común en la zona).

La vivienda posee un humedal artificial de 20 m². (Esta cifra puede variar en la práctica según muchas variables, se consideraron 20m² ya que corresponde a una aproximación del máximo teórico requerido por una vivienda del sector para reciclar un consumo ético diario, con el fin de resaltar la influencia del humedal en los resultados)

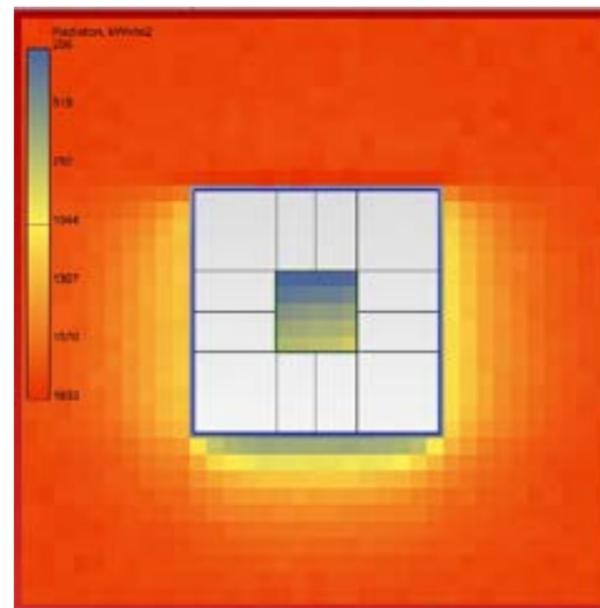


Figura 4.1.3, "Ejemplo Radiación Diva for Rhino"
Fuente: Elaboración Propia

4.1.5 Modelo Monte Carlo: Latin Hypercube Sampling

Debido al alto tiempo requerido por las simulaciones software climáticas, y con el fin de obtener las variables de diseño más significativas sin tener que recurrir a un experimento de diseño exponencial en el cual sería necesario llevar a cabo todas las simulaciones de iteraciones posibles, se utilizó un modelo Latin Hypercube Sampling (LHS), que permite realizar entre un 60% y 80% de las simulaciones totales sin perder resolución de resultados. (Lomas & Eppel, 1992).

Para realizar el modelo se utilizó el software estadístico de Excel XLStat, que entrega información de correlación entre las variables y el resultado final a partir de los datos seleccionados, obteniendo resultados que permiten inferir cual es el escenario más favorable sin necesariamente estar dentro de las simulaciones realizadas, ya que estas no comprenden el 100% de los escenarios posibles, sino que un porcentaje de estas dictadas por el modelo matemático.

Posteriormente, el mismo software es capaz de realizar test estadísticos de bondad, buscando relaciones entre los datos obtenidos y distintos modelos estadísticos que frecuentemente aparecen en estadística y teoría de posibilidades, como la campana de Gauss o la función exponencial, entre otros, con el fin de determinar si el comportamiento de los datos es sintetizable en un modelo estadístico tradicional.

Los escenarios seleccionados por el software pueden ser revisados en la tabla de resultados de iteraciones (Tabla 4.2.6).

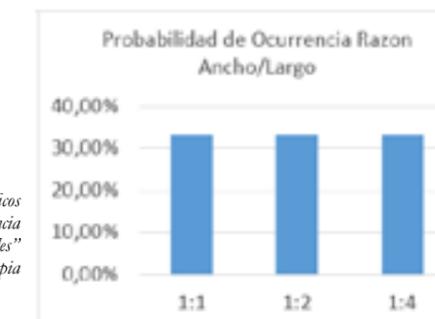
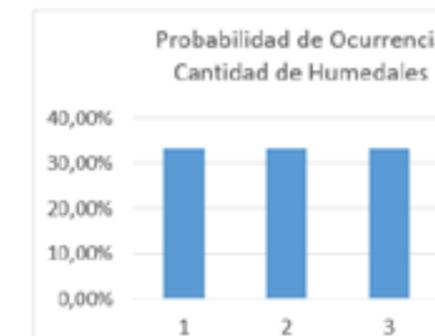
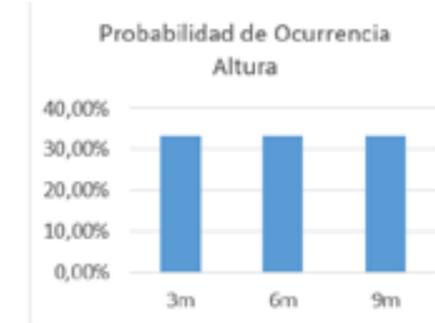


Figura 4.2.2 "Gráficos Probabilidad de Ocurrencia Variables"
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Simulación de Iteraciones y Resultados

Se propone como experimento para determinar las variables más influyentes en el diseño lo siguiente:

Un cuadrado de 13,5 metros por lado, de altura variable (1,2 y 3 pisos, equivalente a 3,6 y 9m), es perforado hasta el nivel del suelo por un rectángulo de 10m² de humedal distribuidos hasta en 3 humedales.

Este humedal, o humedales, poseen formas rectangulares en razón de sus lados 1:1, 1:2 y 1:4 y pueden estar orientados de manera paralela al eje norte sur (0°), perpendicular a este (90°) y en las dos diagonales: oriente y poniente (45° y 135°) (Ver Tabla 4.2).

Se analizara la demanda de enfriamiento requerida por m² de la vivienda, manteniendo fijas las variables de clima, área de humedales y área por piso.

El total de iteraciones son 108, por lo que el modelo LHS permite realizar 60, determinadas por el software usando métodos probabilísticos considerando que todas las iteraciones de una variable tienen igual porcentaje de ocurrencia (Ver Figura 4.2.2) en el caso de existir 3 iteraciones, esto corresponde a un 33,3% para cada una, en el caso de existir 4 corresponde a 25%. De esta manera el software selecciona los resultados finales a analizar.

Se desarrolla todo el método descrito en los capítulos 4.1 para cada iteración seleccionada, por lo que se obtienen resultados de radiación, absorción de calor por 1m² de humedal y demanda de enfriamiento por m².

Para llevar a cabo el experimento se utilizó el archivo climático editado como se ha explicado en el capítulo anterior.

La totalidad de los datos obtenidos se encuentran en el Anexo I.

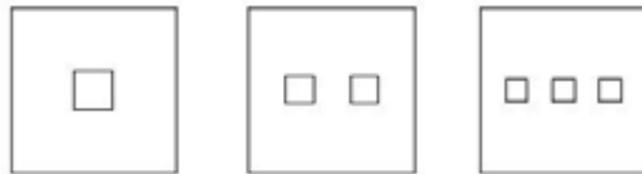
Numero de Humedales	Cantidad de pisos	Razón entre los lados del rectángulo que conforman los humedales	Orientación de los humedales
1	1 (3m)	1:1	0°
2	2 (6m)	1:2	90°
3	3 (9m)	1:4	45°
			135°

Tabla 4.2 "Tabla Iteraciones"
Fuente: Elaboración Propia

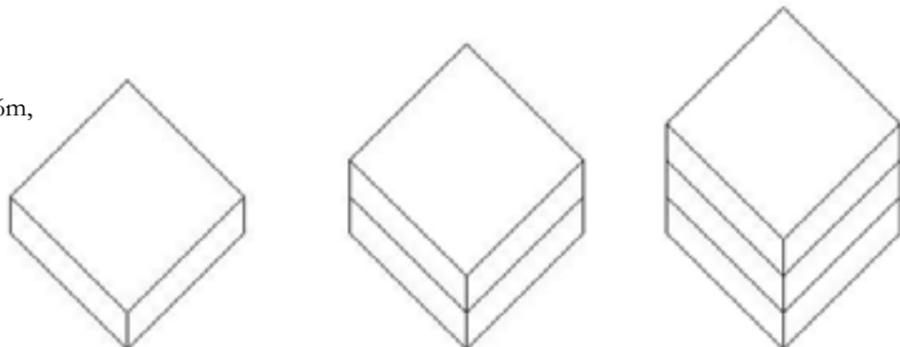
Figura 4.2.1 "Esquema Iteraciones"

Fuente: Elaboración Propia

Cantidad de Humedales.
(1, 2, 3)



Altura Edificio (3m, 6m, 9m)



Relación Ancho / Largo
(1:1, 1:2, 1:4)



Orientación (0°, 90°, 45°, 135°)



Cantidad de humedales	Altura edificio	Relación ancho/largo	Orientación	Demanda de enfriamiento
1	3	1:1	0°	89,1
1	3	1:2	45°	87,7
1	3	1:2	45°	87,7
1	3	1:2	45°	88,5
1	3	1:4	0°	89,8
1	3	1:4	0°	89,8
1	3	1:4	45°	87,9
1	3	1:4	135°	88,0
1	6	1:1	90°	76,3
1	6	1:1	45°	75,7
1	6	1:2	90°	76,4
1	6	1:4	0°	75,8
1	6	1:4	90°	75,2
1	9	1:1	45°	71,2
1	9	1:1	135°	71,2
1	9	1:2	0°	71,6
1	9	1:4	0°	70,9
1	9	1:4	90°	70,4
1	9	1:4	90°	70,4
1	9	1:4	135°	70,6
2	3	1:1	90°	90,5
2	3	1:2	45°	89,5
2	3	1:4	0°	92,5
2	3	1:4	45°	91,3
2	6	1:1	0°	76,0
2	6	1:1	90°	76,1
2	6	1:1	135°	75,2
2	6	1:1	135°	75,2
2	6	1:2	0°	75,7
2	6	1:2	45°	75,2
2	6	1:2	135°	75,2
2	6	1:4	90°	74,1

2	9	1:1	0°	70,6
2	9	1:1	45°	69,7
2	9	1:1	135°	69,8
2	9	1:2	90°	70,3
2	9	1:2	45°	70,0
2	9	1:2	45°	70,0
2	9	1:4	90°	69,3
2	9	1:4	45°	67,1
3	3	1:1	135°	172,4
3	3	1:1	135°	172,4
3	3	1:1	135°	172,4
3	3	1:2	0°	173,1
3	3	1:2	135°	172,4
3	3	1:4	0°	172,9
3	3	1:4	90°	172,2
3	3	1:4	90°	172,2
3	6	1:1	45°	172,3
3	6	1:2	90°	172,2
3	6	1:2	135°	172,0
3	6	1:2	135°	172,0
3	6	1:4	90°	171,4
3	6	1:4	90°	171,4
3	9	1:1	0°	172,2
3	9	1:1	0°	172,2
3	9	1:1	135°	172,7
3	9	1:2	0°	172,3
3	9	1:2	45°	172,1

Tabla 4.2.3 "Tabla Resultados Iteraciones"
Fuente: Elaboración Propia

Matriz de Correlación de Spearman:

Variables	N° humedales	Altura edificio	Relación Ancho/largo	Orientación	Demanda de enfriamiento
N° humedales	1	-0,050	-0,175	0,128	0,644
Altura edificio	-0,050	1	-0,150	-0,037	-0,564
Relación ancho/largo	-0,175	-0,150	1	-0,256	-0,087
Orientación	0,128	-0,037	-0,256	1	-0,015
Demanda de enfriamiento	0,644	-0,564	-0,087	-0,015	1

Figura 4.2.4 "Tabla Matriz de Correlación de Spearman"
Muestra la influencia de cada variable sobre las otras y el total, resaltadas en negro están aquellas más influyentes.
Fuente: Elaboración propia por medio del Software XLStat.

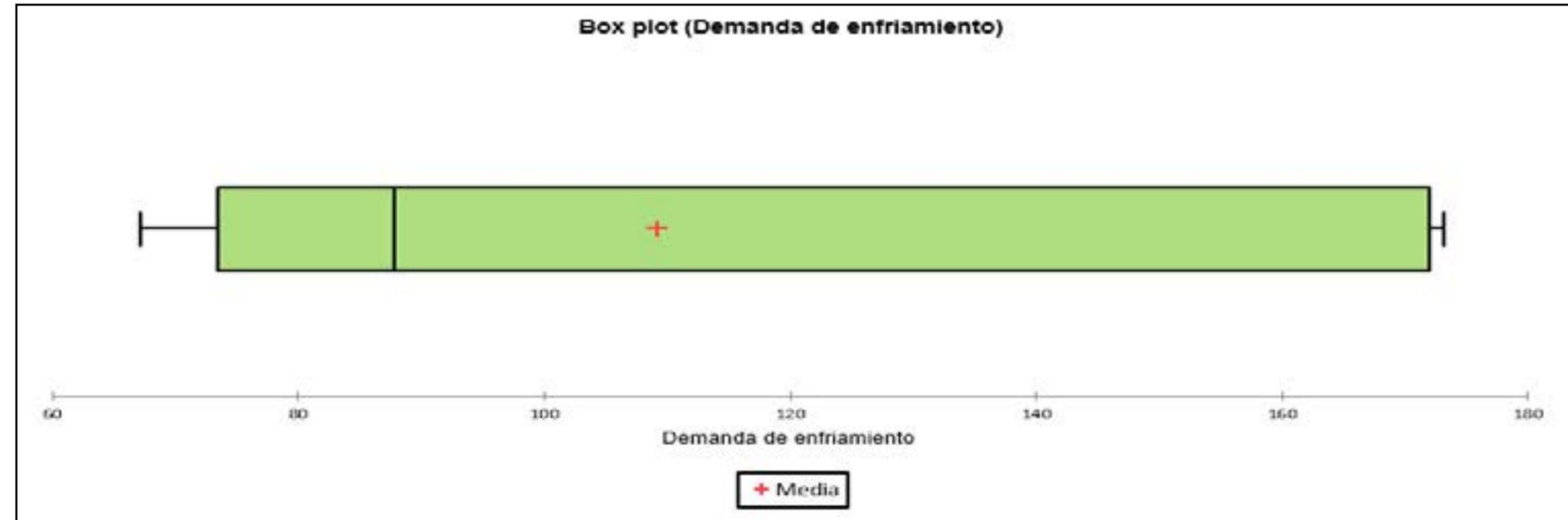


Figura 4.2.5 "Boxplot General"
Gráfico que demuestra todos los resultados de las variables en demanda de enfriamiento.
Fuente: Elaboración Propia por medio del Software XLStat.

Al analizar los resultados, se puede observar en primer lugar que la demanda de enfriamiento varía de manera notoria según las variables (Figura 4.2.3 y 4.2.5), con valores mínimos alrededor de los 72 Kwh/m2 y máximos de 174 Kwh/m2, que representa un rango de alrededor 100 Kwh/m2, y un 240% del valor mínimo.

De esta manera se desprende que el diseño del humedal puede tener un impacto significativo en la demanda de enfriamiento de la vivienda.

Al revisar la matriz de correlación de Spearman (Figura 4.2.4) se desprende que las variables más significativas para el diseño son el número de humedales en primer lugar (64%), luego la altura del edificio (56%), seguido por la relación ancho/largo del humedal que solo altera los resultados solo en un 8,7%, dejando en último lugar la orientación del humedal, con un 1,5%.

Estudiando cada variable en específico nos detalla el comportamiento de ella:

A. Numero de humedales

En el box plot ² del número de humedales (Figura 4.2.6) se puede notar que tener dos humedales supone la manera más eficiente, seguido de manera muy cercana por un humedal.

La variable de tres humedales sin embargo, se escapa por más del doble a las dos primeras opciones.

Esto ocurre debido a que el enfriamiento de los humedales tiene relación con la radiación recibida: en el caso de los 3 humedales la superficie de cada humedal es tan pequeña (14 Kwh en el peor caso, ver Anexo 1) que el sol no logra acceder hasta el humedal, provocando que este no sea un punto de enfriamiento sino más bien una superficie de pérdida de temperatura hacia el exterior.

Al observar la figura 4.2.6.2, se desprende que si bien las diferencias de ingreso solar en los casos de 1 y 3 humedales (1:1) no son relevantes durante los solsticios, a medida que aumenta la altura, la diferencia entre el ingreso durante los equinoccios si es notable, ya que esta es capaz de abarcar un piso de diferencia. Esta situación se ve claramente reflejada en los resultados de radiación (Anexo 1).

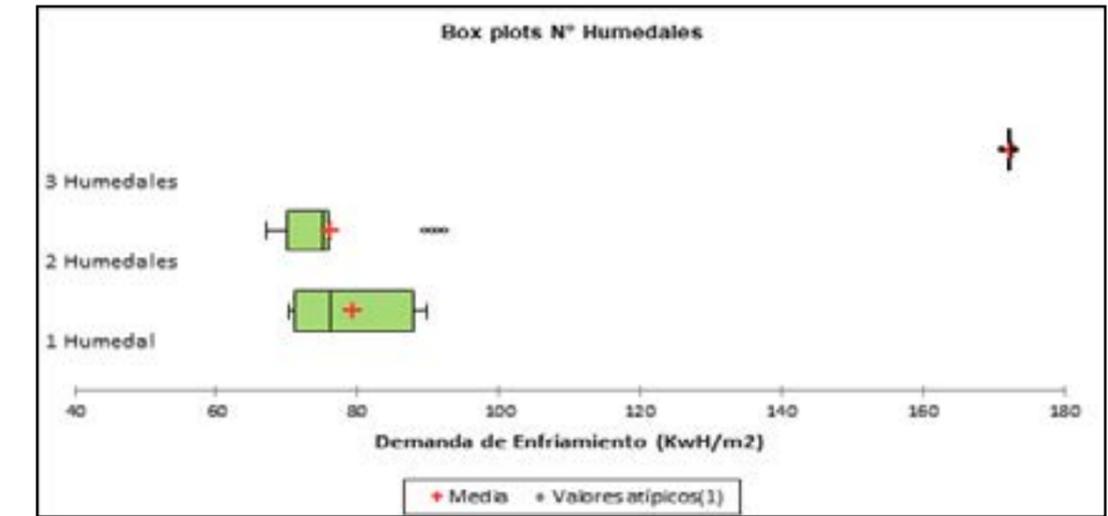


Figura 4.2.6 "Box Plots N° Humedales"
Gráfico que muestra los valores resultantes de las iteraciones en términos de variable en demanda de enfriamiento.
Fuente: Elaboración Propia por medio del software XLStat.

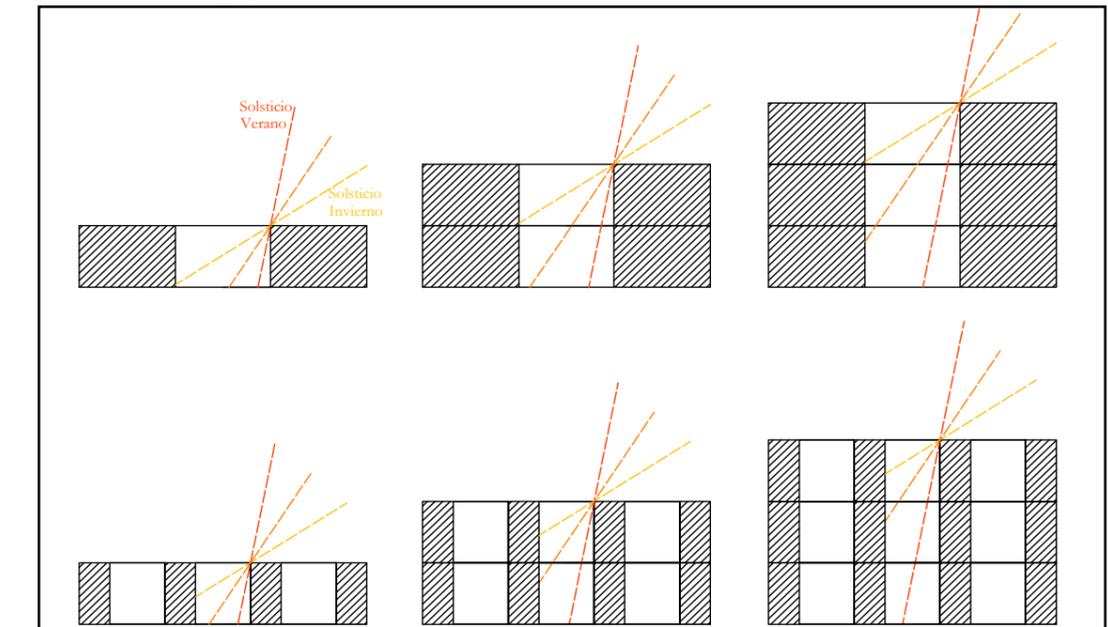


Figura 4.2.6.2 "Box Plots N° Humedales"
Esquema de ingreso solar durante solsticios e equinoccios.
Fuente: Elaboración Propia

² Los box plot son gráficos que muestran una serie de datos numéricos a través de cuartiles, en donde la caja verde representa el segundo y tercer cuartil, divididos por la mediana. Las líneas verticales que escapan de la caja representan los cuartiles 1 y 4, por lo que también representan los valores mínimos y máximos. En los gráficos también se muestra la media y valores atípicos que se escapan de la distribución.

B. Altura del Edificio

En el caso de la altura del edificio (Figura 4.2.7), la solución más eficiente corresponde a la mayor cantidad de pisos, esto responde al hecho de que al aumentar la cantidad de pisos se aumenta la cantidad de metros cuadrados totales pero no a razón de la superficie de envolvente, que provoca pérdidas hacia el exterior y ganancia solar. (Ver Figura 4.2.7.2)

Sin embargo, también se puede observar que en el caso de 3 pisos hay una variable que da valores atípicos, escapándose hacia una mayor demanda de enfriamiento. Esto responde a que al aumentar la altura, se disminuye aún más la radiación incidente en el caso de 3 humedales, resultando en el escenario menos eficiente según lo explicado en el punto "A".

Figura 4.2.7.2 "Esquema perdida calor Alturas"
Fuente: Elaboración Propia

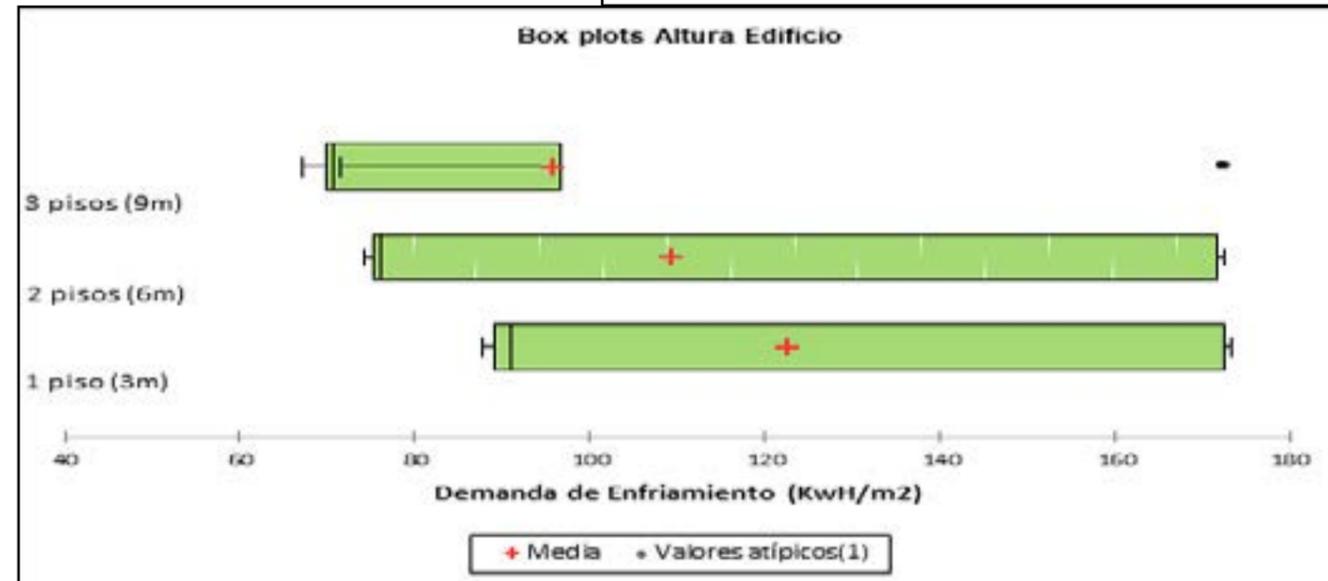
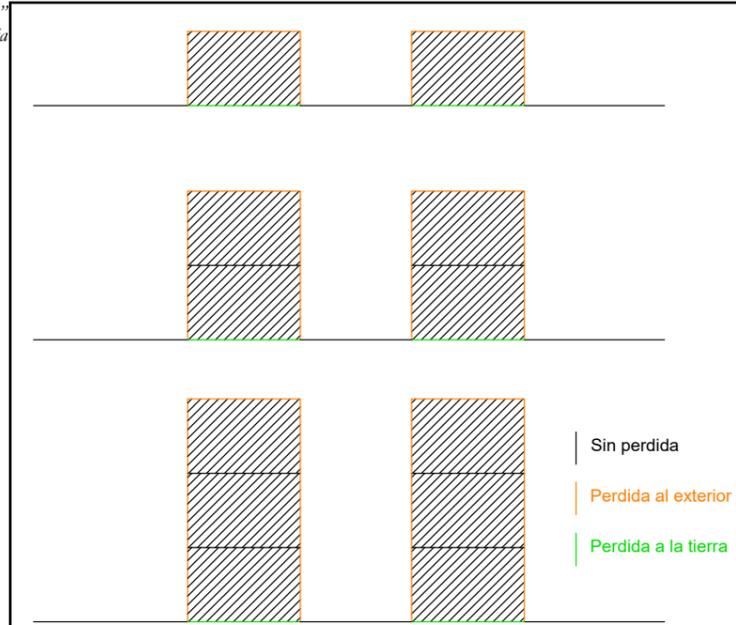


Figura 4.2.7 "Box Plots Altura Edificio"
Gráfico que muestra los valores resultantes de las iteraciones en términos de variable en demanda de enfriamiento. Fuente: Elaboración Propia por medio del software XLStat.

C. Relación Ancho/Largo, Orientación del humedal

Con respecto a la relación del Ancho y largo del humedal (Figura 4.2.8), aunque a grandes rasgos no influye mayoritariamente, si existe un menor promedio de demanda en la relación 1:4, pero al observar los datos particulares (figura 4.2.3) se desprende que esto tiene directa relación también con la orientación del humedal (Figura 4.2.9). Esto es resultante también debido a la radiación que ingresa al humedal pero en función a la hora a la que ingresa: la orientación de 45° tiene la mayor eficiencia ya que permite el ingreso del sol durante la mañana y lo bloquea durante la tarde, provocando que la temperatura generada por el sol se contrarreste por la inercia de los materiales acarreado desde las temperaturas bajas de la noche. El caso menos eficiente es el de 135°, que permite el ingreso del sol durante la tarde, donde la vivienda ya ha absorbido todo el calor generado durante el día (Ver Figura 4.2.11).

Las diferentes relaciones de ancho/largo apuntan justamente a esto, mientras la razón 1:1 discrimina poco en torno al sol que ingresa en distintas horas del día, la razón 1:4 es mucho más selectiva, dando como el resultado más eficiente la relación 1:4 orientado en 45°. Los valores atípicos de la variable 45° corresponden a la razón 1:1, que no es capaz formalmente de impedir el ingreso de radiación a distintas horas, lo mismo ocurre con los valores resultantes para la razón 1:4 en donde se escapan hacia un menor consumo, pues corresponden a aquellos casos orientados en 135°.

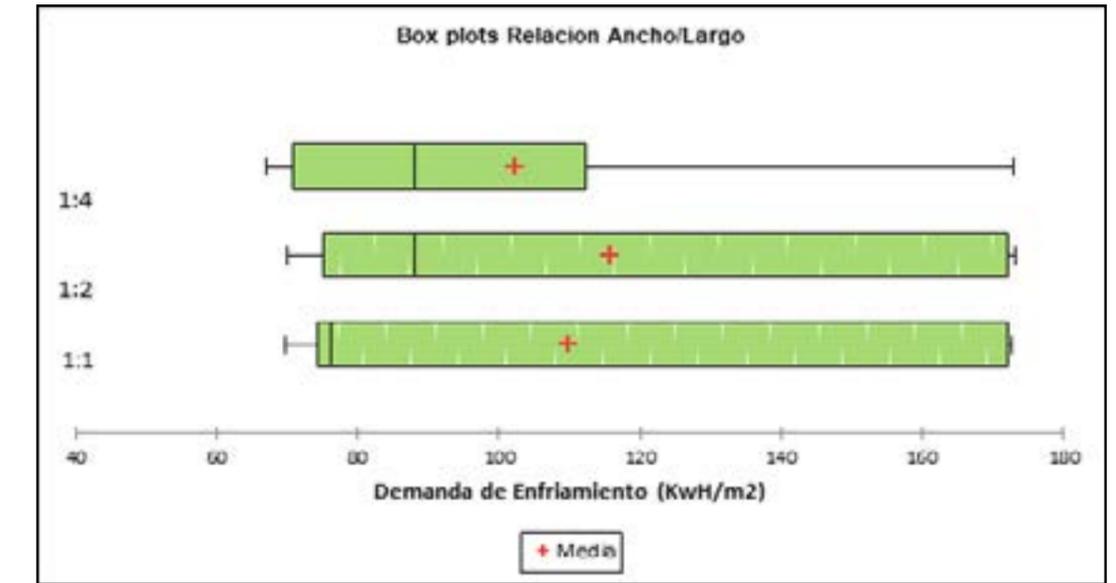


Figura 4.2.8 "Box Plots Relación Ancho/Largo"
Gráfico que muestra los valores resultantes de las iteraciones en términos de variable en demanda de enfriamiento. Fuente: Elaboración Propia por medio del software XLStat.

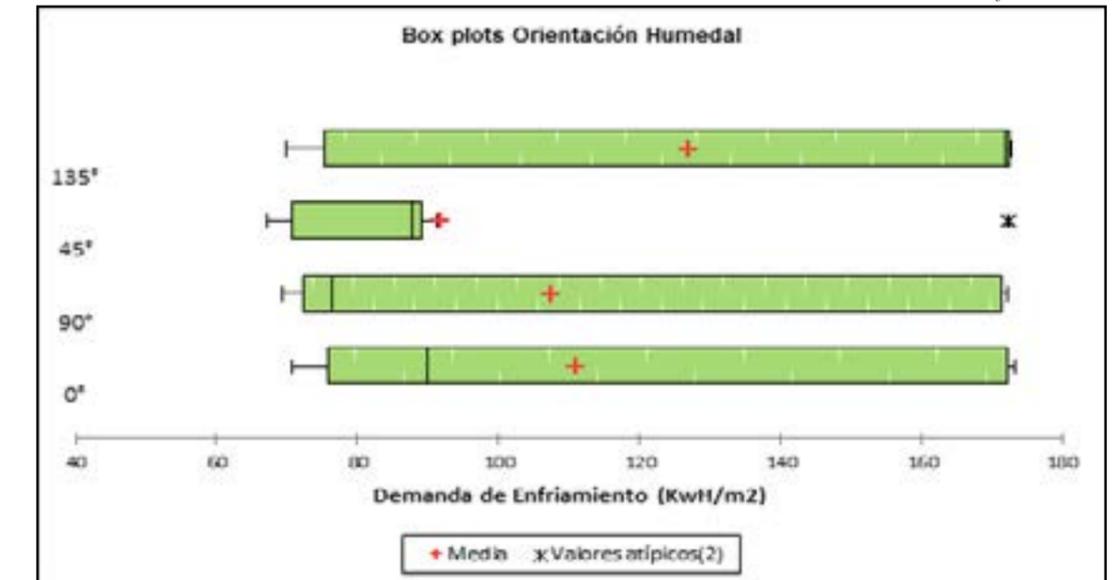


Figura 4.2.9 "Box Plots Orientación Humedal"
Gráfico que muestra los valores resultantes de las iteraciones en términos de variable en demanda de enfriamiento. Fuente: Elaboración Propia por medio del software XLStat.

Tomando en cuenta los casos analizados, teóricamente la situación de diseño más favorable corresponde a 2 humedales orientados en 45° con razón 1:4 (Ver figura 4.2.12), que no quedo seleccionada dentro de las pruebas iniciales, por lo que se realizó de manera externa: la demanda de enfriamiento es 67,1 Kwh/m² anuales para 3 pisos y 73,5 Kwh/m² para 2 pisos, que al compararlos con los resultados (Ver figura 4.2.3) corresponden a los escenarios más eficientes para 2 y 3 pisos.

Posteriormente, con el fin de diagnosticar si los resultados se pueden ajustar a alguna distribución estadística, se realizó con el software XL-Stat una evaluación de los resultados en torno a 15 pruebas estadísticas (Chi-cuadrado, Erlang, Exponencial, Fisher-tippett (1 y 2), Gamma (1 y 2), GEV, Gumbel, Log-Normal, Logística, Normal, Normal (estándar), Student y Weibull 2) de las cuales la distribución que se ajusta mejor a los datos es la de Log-normal, sin embargo, no pasan los test estadísticos de bondad de ajuste, debido a que los datos resultantes son muy discretos (Ver Figura 4.2.10), por lo que no se puede

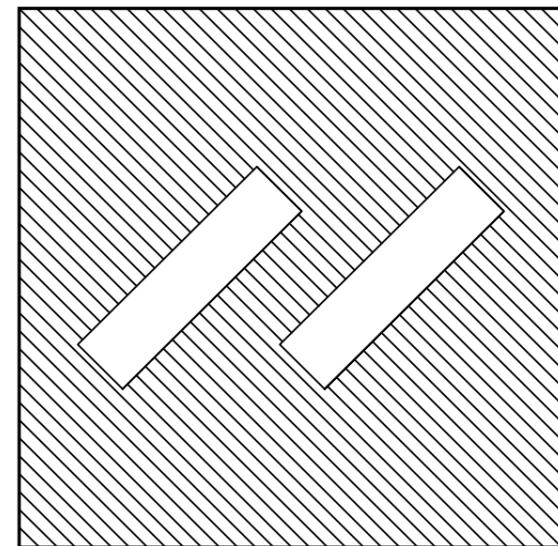


Figura 4.2.11 "Esquema distribución solar orientaciones"
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.2.12 "Esquema escenario mas eficiente"
Fuente: Elaboración Propia

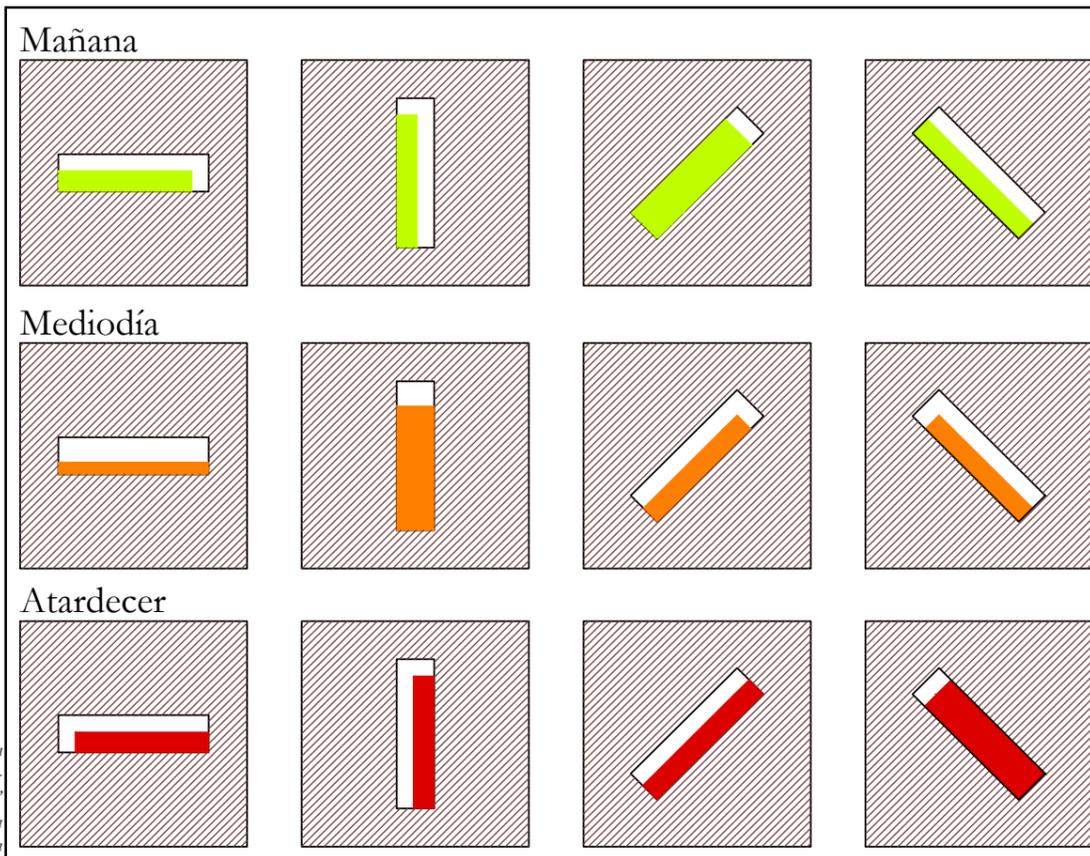
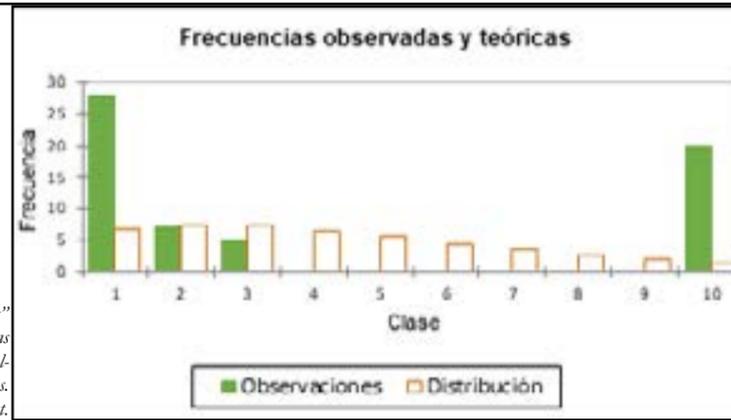


Figura 4.2.10 "Frecuencias observadas y teóricas"
El grafico contrasta las frecuencias observadas y las teóricas en base a Log-normal(4,615;0,387), resultantes de las pruebas de distribución realizadas.
Fuente: Elaboración propia en base a XLStat.



4.3 Simulaciones Aledañas

Con el fin de estudiar mayores posibilidades de diseño, se realizaron simulaciones aledañas que aportan al estudio desde un punto de vista complementario.

En este sentido, era necesario estudiar los resultados si el humedal no se encontraba en el interior de la vivienda, sino en el exterior (Ver Figura 4.3).

Al situar el humedal en el exterior de la vivienda, la temperatura de este se fuga con mayor velocidad debido a que 3 de sus caras se encuentran desprotegidas al exterior y este se lleva la mayoría de la temperatura.

Sin embargo, se puede observar que (Ver Figura 4.4) para el caso de 1 piso, este diseño es más eficiente que al interior, debido a que insertarlo en el interior supone una mayor superficie de contacto de la vivienda con el exterior.

Una vez que aumentamos la altura de la vivienda, las bajas temperaturas del humedal no alcanzan a llegar a los pisos superiores y se fugan con facilidad, bajando considerablemente el rendimiento. De esta forma, colocar humedales aledaños al exterior de la vivienda es una variable de diseño valida siempre y cuando estas no tengan grandes alturas.

De la misma manera, se realizaron simulación para determinar cuál es la influencia del porcentaje de vidriado de contacto entre el humedal y la vivienda, para esto se tomaron los dos casos más eficientes (2 humedales en 45° con relaciones de ancho y largo 1:4 en 2 y 3 pisos) y se analizó la demanda de enfriamiento frente a el remplazo de vidrio por muro en la cara de contacto entre la vivienda y el humedal.

Se puede observar (Ver Figura 4.3.1, Figura 4.3.2) que para el caso de tres pisos el porcentaje de vidriado es considerablemente menos influyente sobre la demanda de enfriamiento que en el caso de dos pisos, esto se puede comprender desde el aumento de radiación que potencialmente ingresa al edificio desde el agujero en donde se inserta el humedal, en donde en el caso de tres pisos se encuentra más limitada, disminuyendo la influencia de esta sobre la demanda de enfriamiento.

En el caso de tres pisos, la mejora de las cualidades térmicas de la vivienda por la disminución del porcentaje vidriado se resume en una variación del 1% aproximado sobre la demanda. En el caso de los dos pisos sin embargo esta supone una variación cercana al 10% entre los casos más extremos.

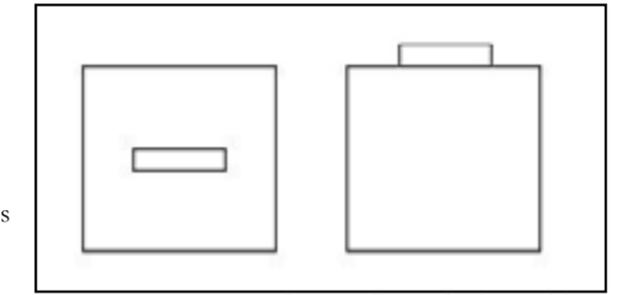


Figura 4.3, "Esquema Simulaciones Aledañas"
Fuente: Elaboración Propia

Pisos	Interior	Exterior
1	88	82,5
2	75	80,7
3	70	81,5

Figura 4.4, "Demanda enfriamiento humedal inserto y externo a la vivienda"
Las unidades corresponden a demanda de enfriamiento / m² (Kwh/m²).
Fuente: Elaboración Propia

Porcentaje de Vidriado	3 Pisos	2 Pisos
100%	67,1	73,5
70%	66,4	73
50%	66,2	68,34
30%	65,9	66,2

Figura 4.3.1, "Tabla Demanda según Porcentaje de Vidriado"
Las unidades corresponden a demanda de enfriamiento / m² (Kwh/m²).
Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.3.2, "Demanda Enfriamiento según Porcentaje de Vidriado"
Fuente: Elaboración Propia



Conclusiones

5. Conclusiones

5. Conclusiones Generales

Estimar la capacidad de enfriamiento que puede suponer un humedal para una vivienda se torna en una tarea compleja debido a la infinita cantidad de variables que puede suponer una vivienda y el humedal, si bien los experimentos preliminares y los cálculos matemáticos indican un ahorro al incorporar un humedal a la vivienda, estos están sujetos a una cantidad de variables que podrían resultar en un escenario distinto al llevarlo a la práctica.

Dicho esto, si tomamos en cuenta los cálculos, simulaciones y datos levantados en este estudio, se estima que los humedales artificiales pueden suponer un ahorro en la demanda de enfriamiento de una vivienda siempre y cuando estos sean diseñados de manera correcta, siguiendo las variables de diseño descritas en el capítulo 4.2 que pueden ser resumidas de la siguiente manera:

1. La cantidad de humedales tiene que estar a razón de proporcionar una radiación mínima que permita el funcionamiento del humedal de manera relevante, se sugiere una cantidad mayor a 150 Kwh anuales, pero intentando aumentar la superficie de contacto del mismo con la vivienda. Mientras más humedales, más superficie de contacto, pero menor radiación.

2. El diseño formal del humedal tiene que responder a un diseño solar inteligente, prefiriendo el ingreso del sol durante la mañana y la protección durante el atardecer, evitando grandes cantidades de radiación en la vivienda.

3. El porcentaje de vidriado del agujero del humedal tiene que responder a la radiación que potencialmente podría ingresar a la vivienda, generando protecciones solares o muros opacos en aquellas caras que reciban mayor radiación solar.

Para aumentar el rendimiento, se puede utilizar también las aguas recicladas por el humedal de manera inteligente para generar fachadas o techos verdes, que ayudarían a regular aún más la temperatura en la vivienda sin costo, ya que su funcionamiento sería a raíz de las aguas grises.

Este estudio sienta las bases teóricas para proponer un método de estudio (Capítulo 4.1) sobre los humedales artificiales, por lo que se puede continuar la investigación hasta llegar a resultados teóricos y prácticos que permitan la utilización de este sistema no solo para amortiguar los gastos de las viviendas con mayor consumo energético, sino que para regular y aumentar la calidad de vida en las viviendas de todo el país a medida que los climas locales lo permitan. Su funcionamiento en base a aguas recicladas puede suponer un sistema de bajo costo accesible por toda la ciudad, ayudando a regular de manera macro el efecto de isla de calor en las ciudades.

De manera complementaria, los humedales son ecosistemas que atraen una diversidad de fauna y ayudan a proteger el ecosistema endémico, por lo que su implementación supone también un rol conservacionista del medio ambi-

ente, sobre todo desde el rol pedagógico que estos pueden ejercer sobre los ocupantes de la vivienda: al convivir y ver reaccionar el humedal en torno a las acciones del habitar pueden ayudar a sensibilizar sobre la situación como agentes de cambio en los ecosistemas que habitamos, sobre todo con el rol del agua en estos, ayudando a valorar más este recurso que se encuentra amenazado por la crisis climática y comprender el daño que puede generar la falta de este, ya que las condiciones del humedal siempre van a estar relacionadas con la huella hídrica de los habitantes de la vivienda.

En otro aspecto, una intención de este estudio era delatar que las relaciones que ocurren en un humedal son mucho más complejas e integrales que lo que se supone desde la norma y la bibliografía en general cuando se intenta maquinizar estos sistemas. Sin embargo, aún quedan muchas relaciones por investigar que no han sido tratadas en este estudio como: el impacto de distintos tipos de fauna en el ecosistema, como peces o aves; la alta generación de biomasa y sus posibles usos como biocombustible o aislante térmico, los posibles usos de humedales de reciclaje de aguas servidas, la distinta eficiencia de regulación térmica de distintos tipos de flora y la influencia del sustrato por sobre el sistema.



Figura 5, "Paisajismo Los Trapenses"
Fuente: GoogleMaps, Recuperado en Enero 2020

5.1 Conclusiones del caso de estudio

La intención preliminar de escoger como caso de estudio el sector de los Trapenses era delatar el mal manejo hídrico e energético que existe en el barrio y lo mal preparado que este se encuentra para enfrentar las proyecciones climáticas. El paisajismo del barrio fue diseñado en un contexto de abundancia hídrica a tal punto que existen grandes áreas de jardines regados inaccesibles (Ver figura 5) con fines puramente ornamentales, en donde podrían aparecer otras tipologías y soluciones cuya demanda hídrica es mucho menor a la del césped y los árboles típicamente insertados en la zona.

Hoy en día la crisis climática nos fuerza a buscar nuevas maneras de habitar y este estudio intenta ser una respuesta a esa interrogante, puesto que la actual configuración del barrio no responde y agudiza la situación climática-energética del país.

El sistema permite mantener áreas verdes de manera sustentable con el medio, intentado preservar un ecosistema en peligro por los daños que existen a la estructura hídrica natural de la comuna.

Sin embargo, los humedales artificiales no son capaces de cubrir la configuración paisajística que posee el barrio hoy en día debido a sus altas demandas hídricas, es necesario replantearse las estrategias de diseño de áreas verdes en el sector con el fin de no agravar la situación de escasez hídrica a la que está proyectada.

Si bien el prototipo se calculo para un consumo ético, este puede ser implementado con mayor eficacia si el consumo hídrico es mayor, incluyendo el alto consumo que existe el día de hoy, de esta manera el sistema puede ser una herramienta que acoja una transición hacia un consumo responsable en la comuna.

Desde el punto de vista energético, la construcción bajo estándares internacionales de eficiencia energética, sumado a la regulación térmica propia del humedal y de aquellas resultantes de las aguas recicladas del humedal (como techos o fachadas verdes) disminuye de manera considerable la demanda energética en climatización de la vivienda, que supone un bien para el medioambiente, para el país en términos de emisión de gases y para los habitantes desde un punto de vista económico, ya que esto supone un direc-

to ahorro a largo plazo en gastos de energía y agua.

Comprendiendo esto, implementar humedales artificiales como reguladores térmicos de viviendas en el barrio de los trapenses aparece de manera preliminar como una estrategia eficaz para disminuir el impacto medioambiental y económico de la vivienda sin disminuir los estándares de vida que existen hoy en día en el barrio.

Es necesario recalcar que el mal manejo de estos recursos en los barrios de mayores ingresos afecta a toda la región: se están malgastando recursos que en las próximas décadas serán escasos para todos y la cualidad de privilegio de estos se verá acentuada a medida que acceder a ellos implique un gasto económico mayor debido a las lógicas del mercado (muchas demandas, poca oferta). La escasez hídrica dificultará el acceso al agua a aquellos sectores de la población que no cuenten con recursos económicos para adquirirla, agravando la desigualdad social que existe en nuestro país, es por esto que surge la necesidad de replantear el consumo desmedido y poco responsable de aquellos que tienen acceso al agua para así no privar de este recurso al resto de la población.



Figura 5.2.1, "Flor de la Pluma"
Fuente: Pinterest.cl, recuperado en Diciembre de 2019

5.2 Propuesta de Proyecto

Con el fin de proponer un ejemplo a raíz de los datos levantados en el estudio, en este capítulo se desarrollará una propuesta de proyecto para el barrio acogiendo el sistema de humedales artificiales como reguladores térmicos de vivienda, analizando su desempeño por medio de software para crear un imaginario del proyecto llevado a la realidad. Para desarrollar este proyecto, se utilizan los datos del barrio levantados en este mismo estudio, intentando responder a los estándares constructivos existentes.

En primer lugar, para las simulaciones realizadas en este estudio (Capítulo 4.3) se tomó como referencia constructiva la norma vigente de regulación térmica del país con el fin de delatar su ineficiencia energética frente a la crisis climática. En este capítulo, también se tomará en cuenta los Estándares de Construcción Sustentable, desarrollado por el Minvu (disponible en <https://csustentable.minvu.gob.cl/estandares-cs/>) que establecen medidas de aislación térmica y protecciones solares más exigentes que la norma actual, con el fin de establecer un camino a seguir frente a la crisis climática.

Para la zona climática "D" correspondiente a la ciudad

de Santiago, se proponen los siguientes valores U (W/(m²K)):

Muros = 0,80 (1,9 en RT)
Techos = 0,38 (0,47 en RT)
Pisos Ventilados = 0,70 (0,70 en RT)

Además de hacer hincapié en temas como infiltraciones de aire (1 RAH como máximo), ventilación mecánica, puentes térmicos, diseño solar, masa térmica (media para la zona climática "D"), protección solar vegetal, envolvente transparente eficiente y equipos de climatización energéticamente eficientes, que generan un considerable mejor desempeño energético de la vivienda.

Se propone una vivienda de 2 pisos con el humedal en su interior de manera que este responda a la investigación realizada, la cual dice que la manera más eficiente de insertarse son con 2 humedales con razones de ancho y largo de 1:4 y orientado de tal manera que ingrese el sol de la mañana.

La intención detrás del cubo de 13,5 metros utilizado para la simulación era la versatilidad que permite esta figura,

permitiendo distribuir en el más de una vivienda de la manera que parezca necesaria para su habitar, en este caso, siguiendo los estándares de habitabilidad del barrio, se decide dividir el cubo en 2 viviendas pareadas, donde cada vivienda cuenta con su propio humedal (Ver Figura 5.2).

Al parear la vivienda, se puede esperar una disminución en su gasto energético debido a la disminución de área de contacto con el exterior.

Así mismo, la vivienda cuenta con aguas grises recicladas por el humedal que pueden ser utilizadas con fines ornamentales y energéticos mediante vegetación estratégica que regule la radiación durante el año: se propone la utilización de una trepadora caduca que permite el ingreso del sol durante el invierno y lo bloquea durante el verano, además de regular la temperatura adyacente por evotranspiración.

Para esto, se puede utilizar trepadoras caducas tales como Wisteria sinensis (flor de la pluma) (Ver figura 5.2.1.), Bouganvillea glabra (bouganvillea), Parthenocissus quinquefolia (Ampelopsis), Mandevilla laxa (jazmín chileno) o alguna trepadora del género Clemátide.

Se toman como referentes principales para la vivienda tres casos certificados por el instituto passivhaus, que establece un riguroso estándar de construcción que resulta en viviendas de muy bajo consumo energético y condiciones pasivas cercanas al confort. El instituto Passivhaus cuenta con una base de datos online disponible en <https://passivehouse-database.org/> en donde se pueden buscar referentes por clima, ubicación, tamaño y uso.

En primer lugar se muestra la Maison Bambou, un proyecto del estudio Karawitz Architecture en Francia construida el 2009 con la primera certificación Passivhaus del país, se rescata de la vivienda la implementación de los paneles fotovoltaicos dentro del diseño arquitectónico y la celosía de bambú que rodea toda la vivienda, regulando el ingreso de radiación solar sin limitar la luz natural. La vivienda está construida principalmente en madera laminada, con fundaciones en hormigón y la envolvente en bambú. (Ver figura 5.3)

En segundo lugar, se toma como referente las 32 viviendas pasivas construidas en Hannover – Kronsberg, Alemania. Estas viviendas fueron construidas como ejemplo pasivo y los resultados fueron estudiados y levantados por la Agencia Internacional de Energía, (IEA, 2001). Los arquitectos son la oficina Rasch & Partner y este conjunto demuestra un buen ejemplo de cómo construir un conjunto de viviendas energéticamente eficiente. (Ver Figura 5.4)

En tercer lugar se toma la única vivienda construida en la región metropolitana con certificación Passivhaus, cuyas condiciones se asemejan bastante a las del proyecto propuesto en este estudio: se trata de una vivienda en Lo Barnechea, a 1350 metros sobre el nivel del mar, desarrollado por la oficina Arquambiente entre el año 2012 y 2015. (Ver Figura 5.5)

Figura 5.2 “Esquemas de proyecto 1”
Fuente: Elaboración Propia

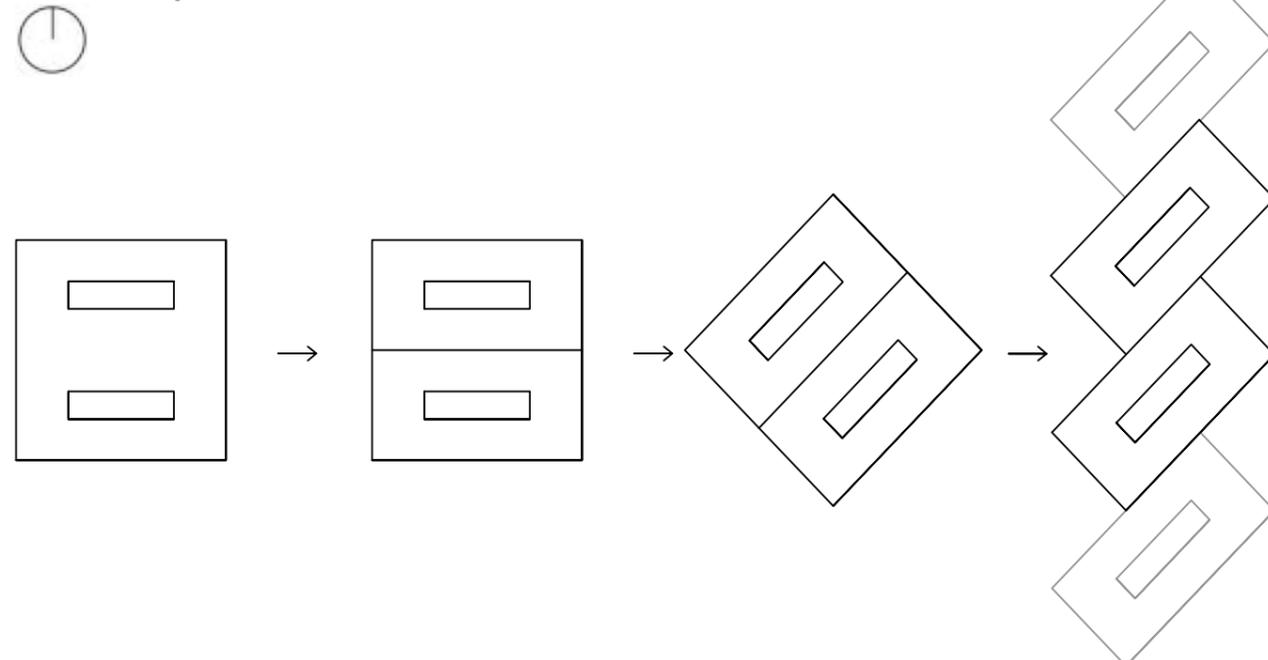


Figura 5.3, “Maison Bambou”
Fuente: Plataforma Arquitectura, recuperado de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-48284/passive-house-karawitz-architecture-en-Diciembre-2019>.

Con una superficie total de 340 m², la vivienda cubre el 100% de la demanda eléctrica con 36 paneles fotovoltaicos (12.743 kWh anuales) y el 76% de la demanda de agua caliente sanitaria con colectores solares (5.070 kWh anuales).

La construcción se realizó principalmente con paneles SIP prefabricados y una estructura en acero para cumplir con la norma sísmica, los muros tienen un valor $U = 0.166$ (W/(m²K)) que corresponde a una transmitancia 5 veces menor a la referida en el estándar sustentable y 12 veces menor a la referida en el RT. El vidriado tiene un valor U de 1,2 (W/(m²K)), el techo un valor $U = 0.085$ W/(m²K) con una cámara de aire ventilada y los suelos un valor $U = 0.218$ (W/(m²K)), estos valores corresponden a los exigidos por el instituto Passivhaus para certificar las viviendas.

La vivienda cuenta con Suelo radiante eléctrico, caldera de gas individual, paneles solares y colector solar, no cuenta con sistema de climatización y posee un sistema de ventilación mecánico con un intercambiador de calor de flujo doble.

Figura 5.4, “Hannover – Kronsberg, Alemania.”
Fuente: IEA, 2001



Figura 5.5, “Casa Tron-Brien”
Fuente: Arquambiente.cl



Se tomó la constructibilidad de esta casa como referente para las simulaciones del proyecto, realizando tres simulaciones en DesignBuilder (Ver Figura 5.7) distintas: una con los estándares RT, otro con los estándares sustentables elaborados por el MINVU y finalmente uno con los valores U de la vivienda Passivhaus en Lo Barnechea, los resultados fueron los siguientes (Ver Figura 5.6). (Se considero la aislacion termica en la cara exterior del muro, dejando la masa termica en contacto con la vivienda)

Figura 5.6, "Tabla Demandas Climatización según Constructibilidad." Fuente: Elaboración Propia

Constructibilidad	Demanda Calefacción Anual (KwH)	Demanda Enfriamiento Anual (KwH)	Demanda Calefacción Anual por m2 (KwH/m2)	Demanda Enfriamiento Anual / m2 (KwH/m2)
RT	1550	4821	11,07	34,43
Estándar Sustentable	1195	4295	8,53	30,67
Passivhaus	878	2086	6,271	14,90

Se desprende de estos resultados que los Estandares Sustentables propuestos por el MINVU no son suficientes para generar una vivienda de bajo costo energetico frente a las proyecciones climaticas de la zona "D", por lo que se propone seguir la constructibilidad del referente Pasivhaus detallado anteriormente en este capitulo.

Como estrategias arquitectonicas, se propone para la vivienda generar espacios con vistas hacia el humedal, de tal manera que este conforme un eje primordial de la vivienda, configurando los espacios tanto interiores como exteriores de ella por medio de dos circulaciones en el primer nivel, una exterior y otra interior.

Los espacios de estar y descanso se localizan en torno al humedal, mientras las habitaciones fugan sus vistas hacia un exterior protegido por una estructura que soporta la proteccion solar vegetal, con el fin de generar privacidad en las habitaciones y no privar estas mismas de luz y ventilacion natural, mientras que los espacios comunes se abren hacia el humedal.

Con respecto a las áreas verdes del proyecto, se propone utilizar un paisajismo semiárido que pueda soportar el clima de la ciudad de Santiago sin requerir una alta cantidad de agua.

Para esto, el paisajismo debe estar compuesto por árboles nativos del sector, como el peumo, espino, maitén o boldo, acompañado de arbustos de bajo requerimiento

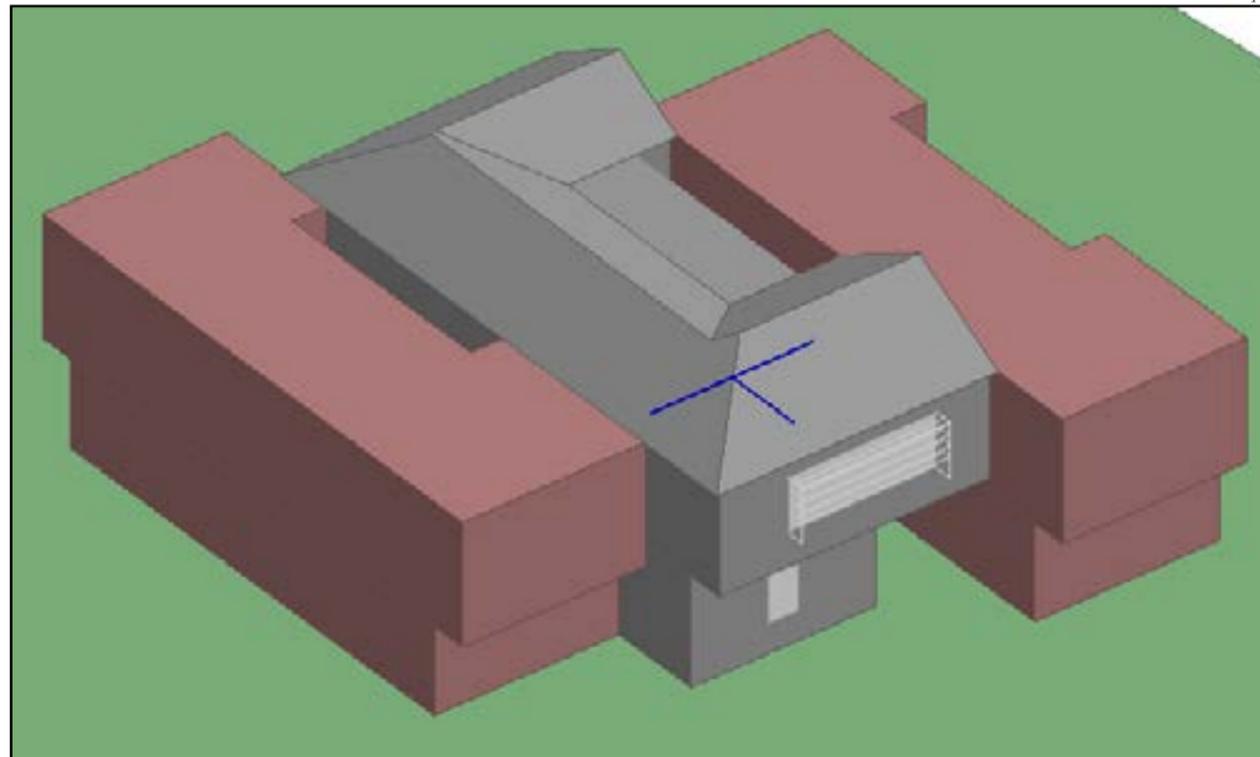


Figura 5.7, "Imagen Software DesignBuilder" Fuente: Elaboración Propia

hídrico como pueden ser la lavanda, romero, salvia, entre otros.

Deben aparecer tambien cactáceas y suculentas (Ver Figura 5.8), que destacan por su bajo requerimiento hídrico (Echinopsis ciloensis, Agaváceas, Aizoáceas, Apocináceas, Asclepiadáceas, Asphodelaceas, Crasuláceas, Euforbiáceas y Portulacáceas) pero tambien tienden a presentar espinas o una piel dentada, por lo que se propone su utilización en jardineras elevadas del suelo, dificultando el acceso de niños a ellas.

Sin embargo, los aproximados 50 litros de aguas grises recicladas por persona en un régimen de consumo ético nos permiten disponer de pequeñas áreas de césped. Tomando en cuenta el dato entregado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, con 50 litros podemos regar hasta 5m2 de pasto, por lo que considerando una vivienda de 6 habitantes podríamos disponer como máximo 30m2 de césped regado por vivienda, a lo cual tenemos que descontar el gasto hídrico en otras especies, por lo que se propone una área común por conjuntos de viviendas a razón de 100m2 por cada 10 viviendas.

Si bien las viviendas cuentan con la superficie de humedal necesaria para tratar un consumo ético de 100 litros diarios por persona, se puede dar la situación en donde por diversos motivos (como caída de aguas lluvias, aumento de los habitantes de la vivienda, lavado de autos, etc) y por sobre todo considerando que la limitante ética no es obligatoria en el uso de las viviendas y que este puede variar con el tiempo, ocurrirá que la cantidad de aguas grises de una vivienda exceda la capacidad instalada en los humedales, que debido a la cultura de alto consumo del barrio es esperable.

Esta situación se aprovecha con la instalación de humedales exteriores a la vivienda en áreas comunes con el fin de fortalecer las áreas verdes del proyecto. Se propone que estos humedales exteriores conformen espacios de estar apoyados por parrones con plantas trepadoras perennes, generando espacios regulados térmicamente que aportaran a disminuir el efecto de isla de calor del conjunto y otorgando espacios comunes de estar con temperaturas más cercanas al confort en un espacio que emula el ecosistema local y lo protege, preservando su existencia y la de la fauna que habita en el sector, de la cual se destacan una gran variedad de aves, anfibios y mamíferos.

Figura 5.8, "Suculentas" Fuente: Cactario La Florida, recuperado de https://www.cactario.cl/cactus-la-florida.html Diciembre 2019



Figura 5.81, "Plantas Proyecto" Fuente: Elaboración Propia

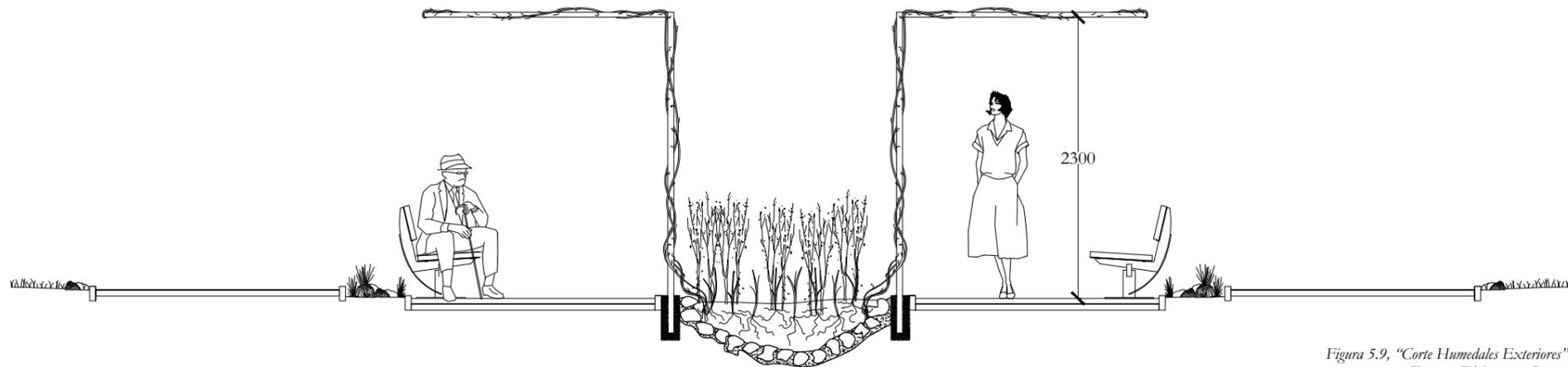


Figura 5.9, "Corte Humedales Exteriores"
Fuente: Elaboración Propia

Se despliega un boceto del sistema ideado (Ver Figura 5.9).

A modo de resumen, las áreas verdes comunes del conjunto estarán determinadas por:

- Un paisajismo semiárido local con bajas exigencias hídricas, en donde se destaca la flora local y la aparición de cactáceas y suculentas.
- 10m² de césped regado por vivienda.
- Humedales exteriores rodeados de parrones con trepadoras perennes.

Todo esto tiene el fin de crear un conjunto con bajas exigencias hídricas, respetuoso con el ecosistema local y que aporte de mayor manera posible a la regulación térmica del conjunto.

Se seleccionó como predio un terreno dentro del barrio de los Trapenses que actualmente no se encuentra habitado pero sí urbanizado, esto se debe a que el barrio se encuentra expandiéndose hacia los cerros circundantes, lo que resulta en estudios y movimientos de tierra complejos de urbanizar, por lo que con el fin de concentrarse en desarrollar el estudio pertinente, se tomó un terreno cuyos estudios de tierra ya han sido desarrollados.

El punto más alto del terreno se encuentra a 1010 msnm y el más bajo a 998 msnm, con un área de 8.207 metros cuadrados. Se añade un mapa en donde se resalta en verde el predio escogido (Ver figura 5.91)

Se propone la construcción de 26 viviendas de 150 metros cuadrados construidos, lo que deja 303 metros cuadrados de terreno total por vivienda más equipamiento deportivo y mixto para el conjunto, tomando la forma de una multicancha deportiva y salas multiuso.

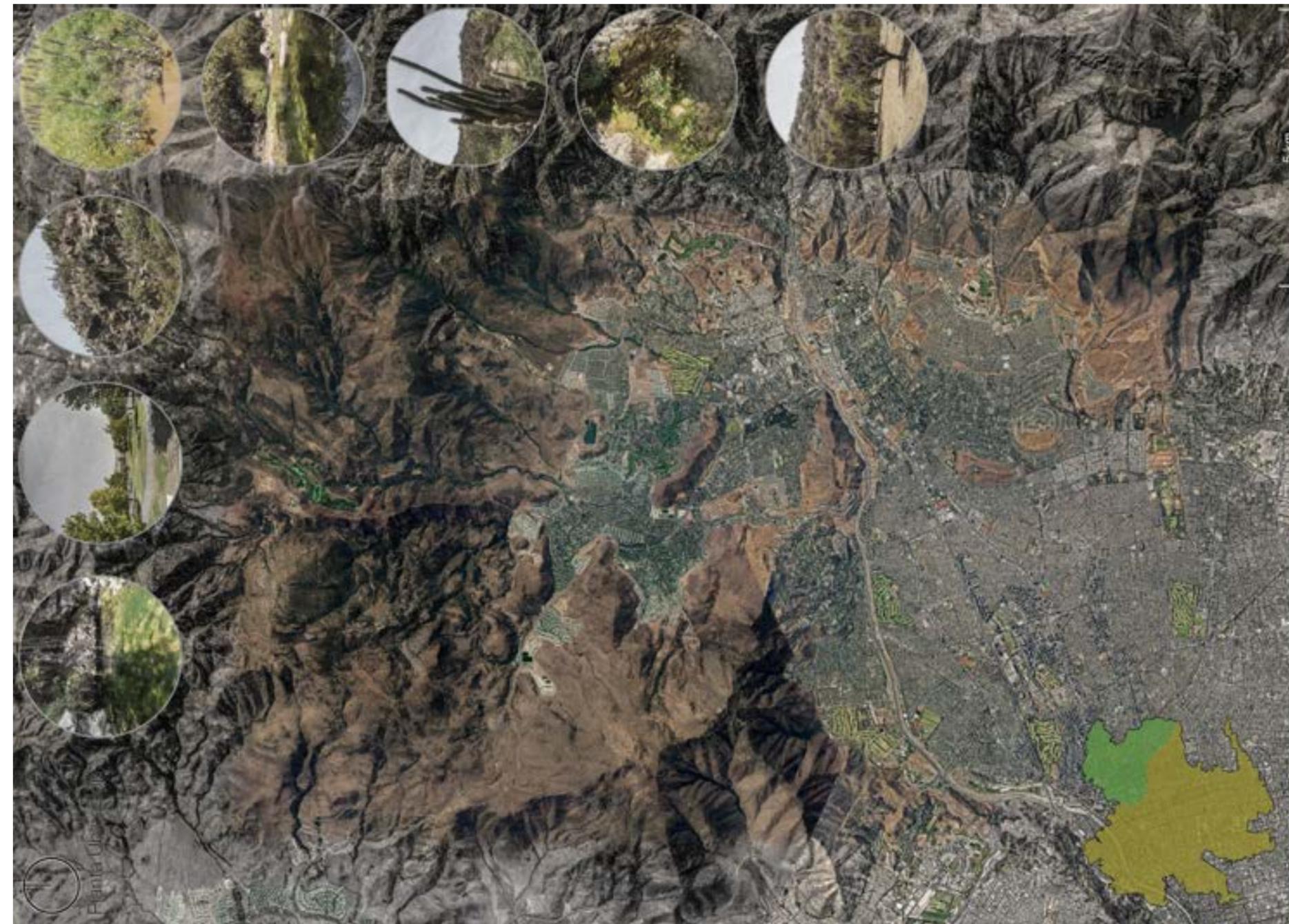
Según el cálculo desarrollado en el capítulo 3.2.3, las casas se equipan con 24 paneles fotovoltaicos en la cubierta con el fin de alcanzar a cubrir la alta demanda energética por persona del barrio bajo energías renovables no convencionales. Se calcula que estos sistemas recuperaran su inversión entre 5 y 7 años y la ley 21.571 permite vender los excedentes eléctricos a las empresas de distribución energética.

También se contempla un área de compostaje para aprovechar y hacerse cargo de los residuos orgánicos del conjunto, que posteriormente sirven como abono para las áreas verdes. En Chile se estima que una persona genera 1 kilo de residuos domiciliarios al día, del cual se estima que

el 50% corresponde a materia orgánica compostable. En una compostera, la materia se demora 3 meses en degradarse a abono, por lo que se instala una capacidad máxima de 2106 kilos (Número de habitantes por vivienda x cantidad de viviendas x cantidad de residuos orgánicos en tres meses), que corresponde a un volumen de 4212 Litros aproximados, o 4,212 metros cúbicos.

Se propone que el abono generado por el compostaje sea utilizado en un área de huertas comunitarias, de esta manera se complementaría el sentido pedagógico del humedal y el conjunto con respecto a los desechos humanos y la sustentabilidad, ya que se podrían producir alimentos a partir de aguas recicladas y restos orgánicos, incentivando la comprensión de los ciclos naturales y la economía circular.

Se despliegan las laminas del proyecto final a continuación:





L2
Humedal Artificial: como regulador térmico de viviendas.



Axonométrica Conjunto



L3
Humedal Artificial: como regulador térmico de viviendas.

Plantas Elevaciones
1:50



Vivienda Oriente
Planta 1



+2.70
+2.40
+2.10
+0.00



Vivienda Poniente
Planta 1



L4
Sensul Lus Oriente
Unidad Articulada como reguladores térmicos de viviendas

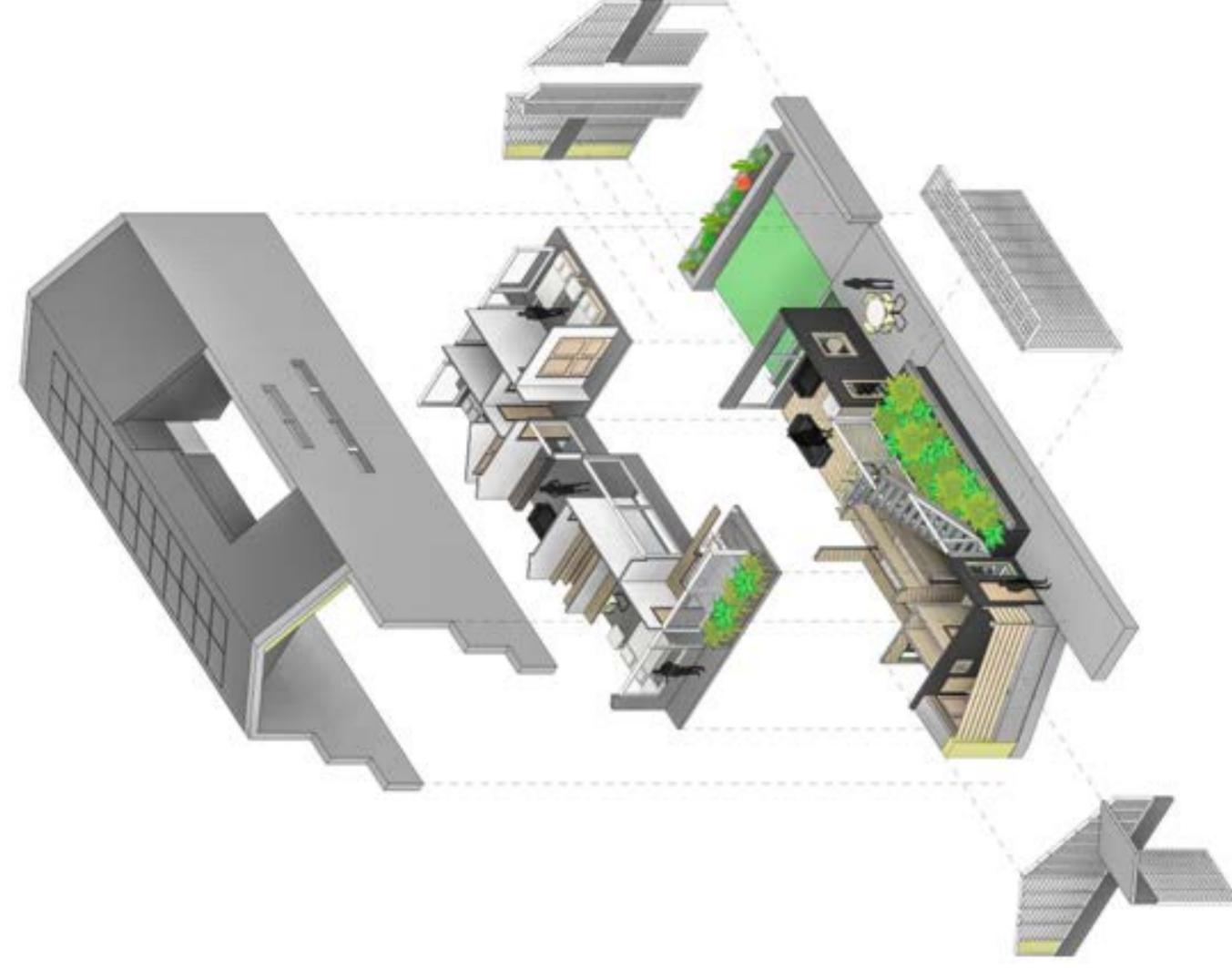
mase

Cortes



L5
Sensul Lus Oriente
Unidad Articulada como reguladores térmicos de viviendas

mase



Esquemas Celosías

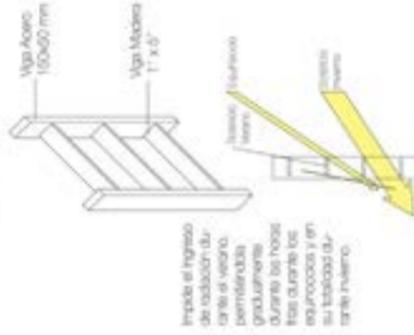


Imagen Verano

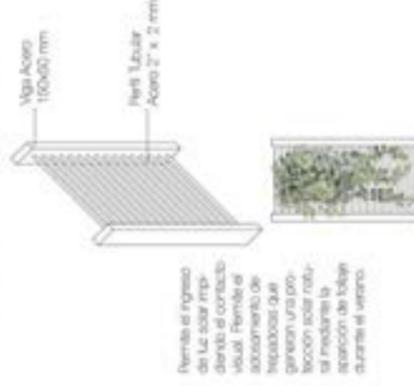


Imagen Invierno

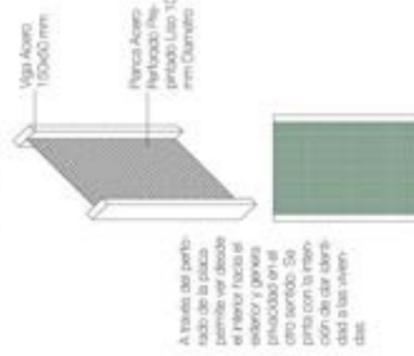
Celosía I
Protección Solar



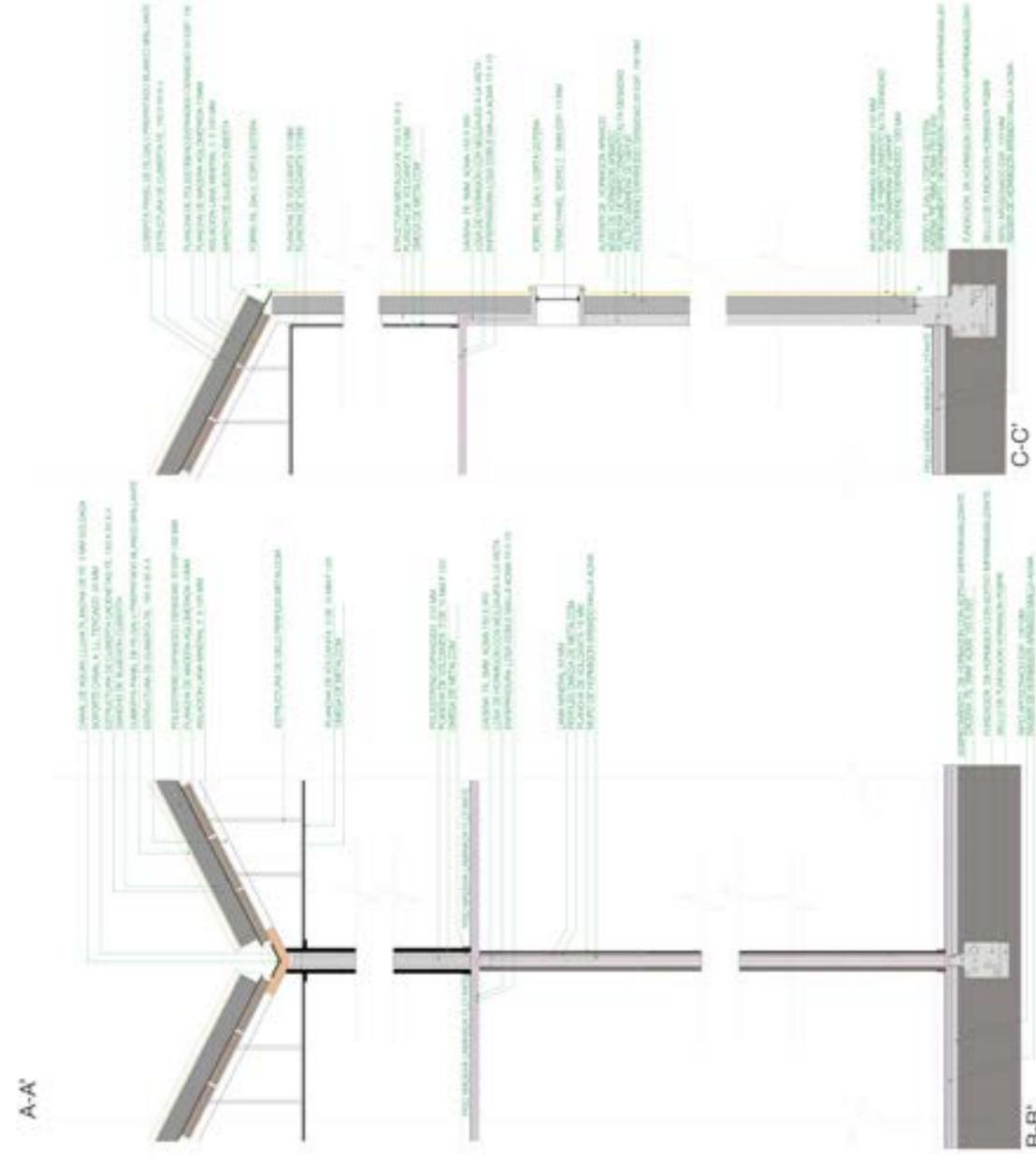
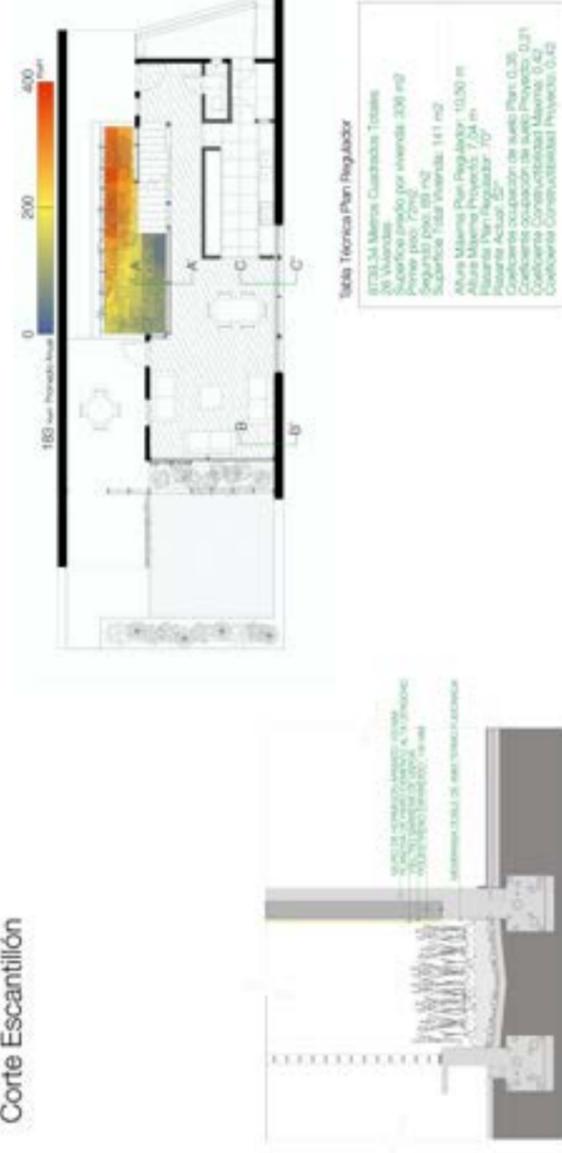
Celosía II
Privacidad - Trepadoras



Celosía III
Identidad



Corte Escantillón



L8 Cornisa Luz Urbane
Fijada Artificialmente como reguladora térmica de viviendas

mase

Imágenes Proyecto I



Imagen Cocina

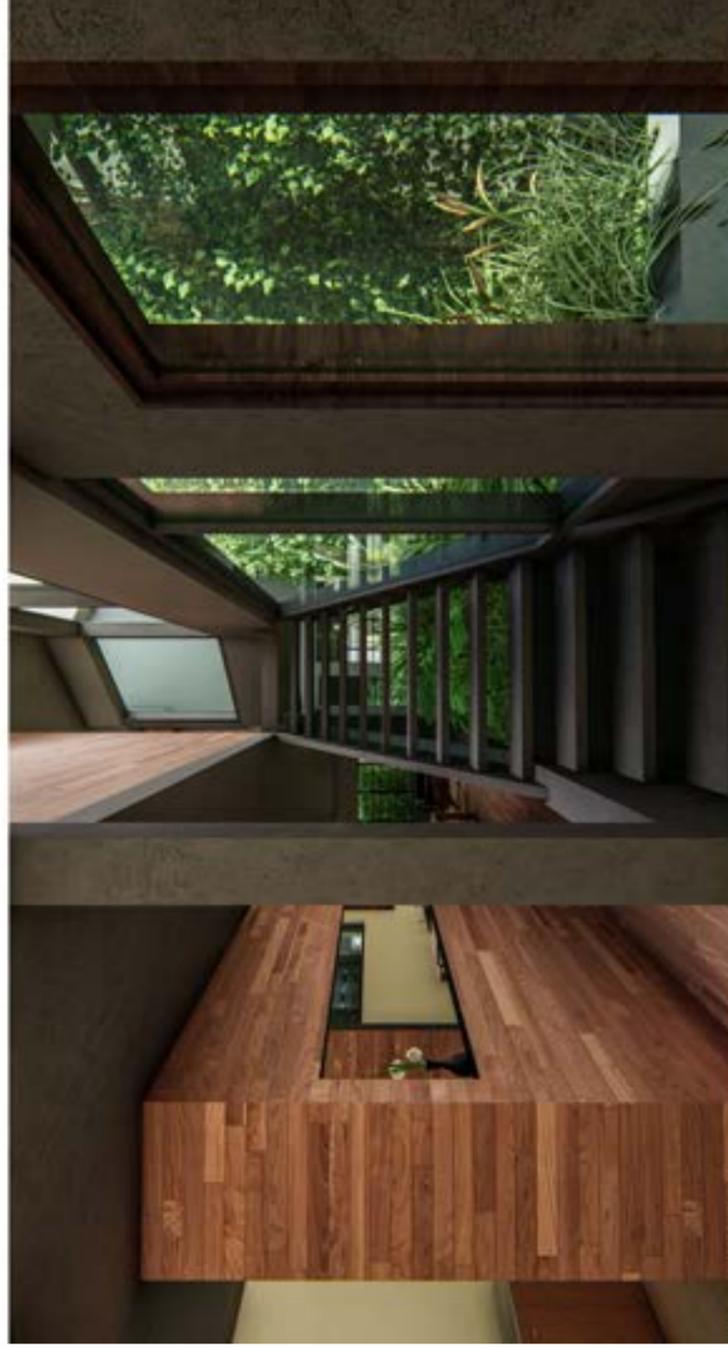


Imagen Escalera

L7 Cornisa Luz Urbane
Fijada Artificialmente como reguladora térmica de viviendas

mase

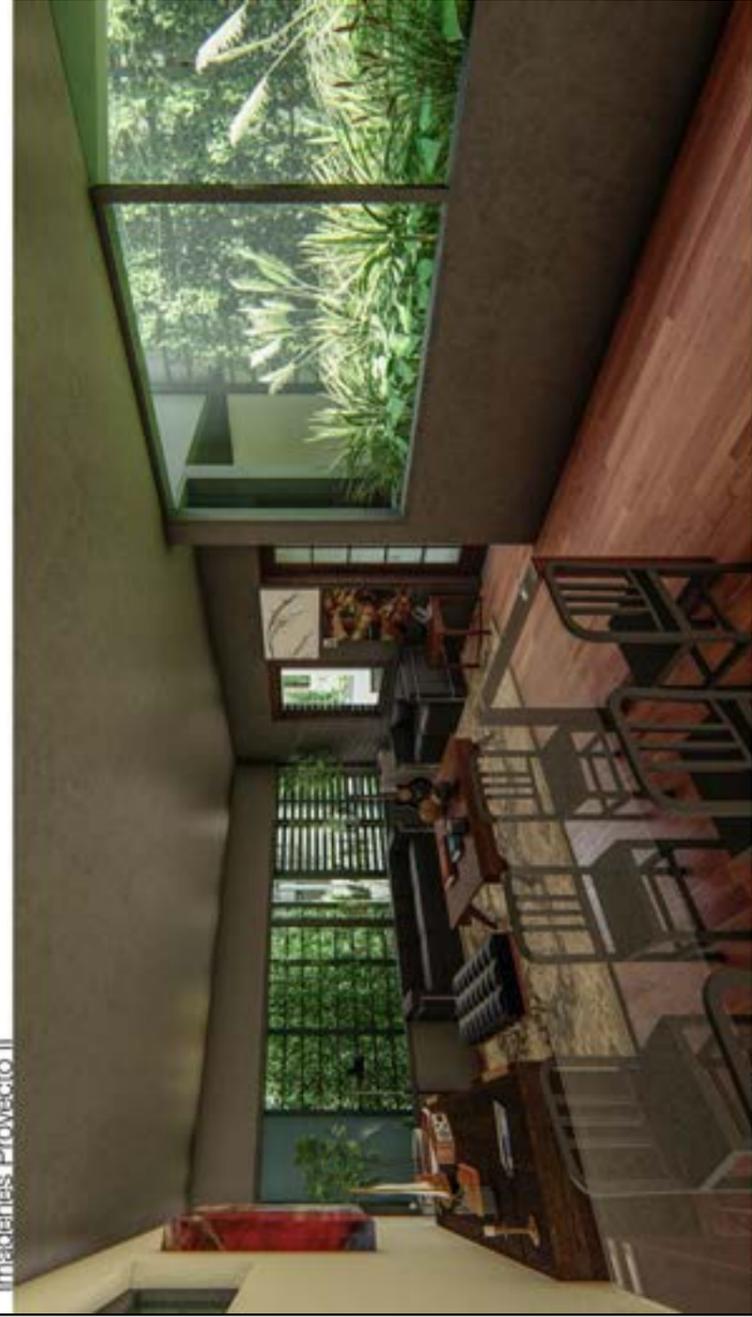


Imagen Living Comedor

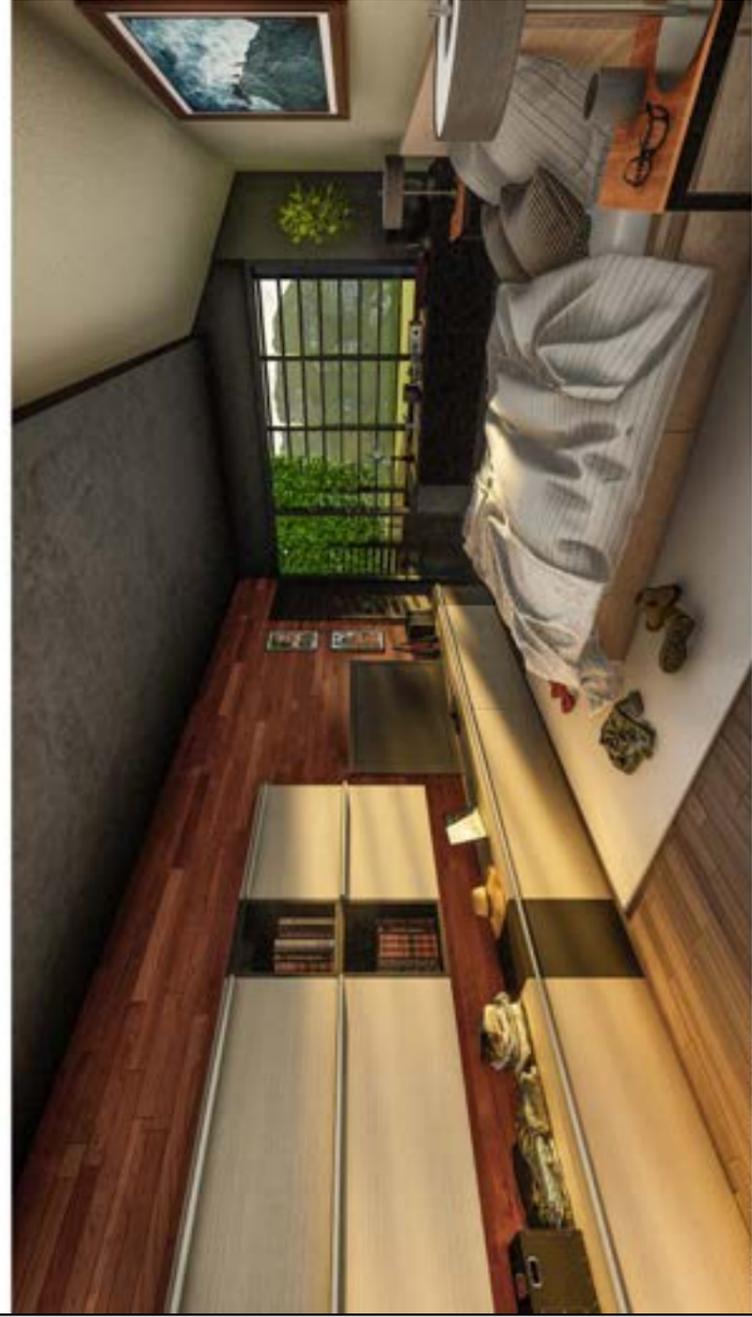


Imagen Dormitorio Principal

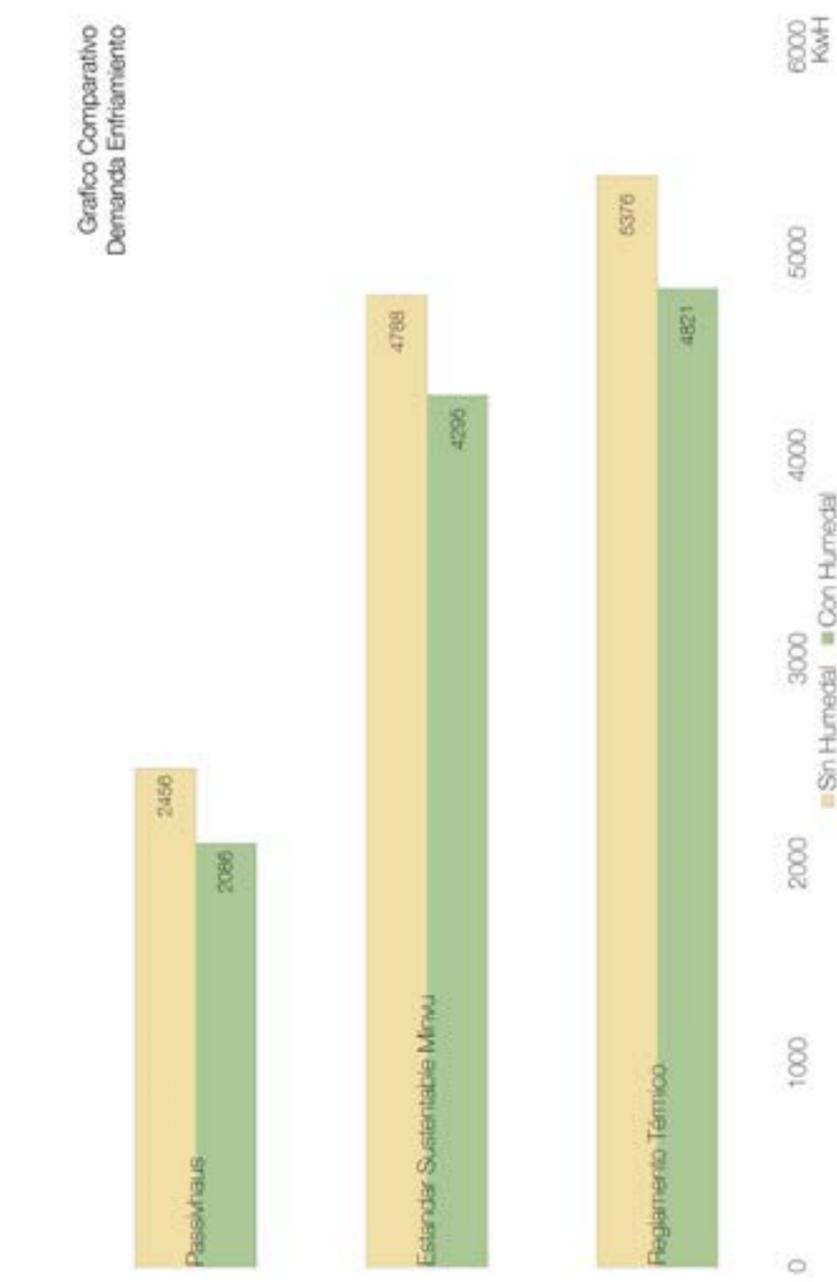
L8

Simulaci3n LUZ UltraE
Altimetr Antic3n como regulaci3n t3cnica de relevancia

mase



Imagen Exterior



L9

Simulaci3n LUZ UltraE
Altimetr Antic3n como regulaci3n t3cnica de relevancia

mase



Bibliografía y Anexos

6. Bibliografía

Arias I., C. A., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13(1), 17-24. <https://doi.org/10.18359/rcin.1321>

BioBioChile. (2019, enero 3). Ola de calor en Santiago aumenta en más de un 30% la adquisición de aire acondicionado. Recuperado 3 de junio de 2019, de BioBioChile website: <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-metropolitana/2019/01/03/ola-de-calor-en-santiago-aumenta-en-un-30-la-adquisicion-de-aire-acondicionado.shtml>

Cabello, H. (2010). Efectos del aire acondicionado en la salud. Recuperado 13 de junio de 2019, de <https://portal.alemana.cl/wps/wcm/connect/Internet/Home/blog-de-noticias/Ano+2011/01/Efectos+del+aire+acondicionado+en+la+salud>

Campillo, L. M. M., & Sena, R. D. T. (2017). Las fachadas verdes como herramienta pasiva de ahorro energético en el bloque administrativo de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. *Dearq*. <https://doi.org/10.18389/dearq13.2013.11>

Chechilnitzky, A. (2019, abril 24). Vitacura y Recoleta lideran ranking de áreas verdes por habitante en Chile. *La Tercera*. Recuperado de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/vitacura-recoleta-lideran-ranking-areas-verdes-habitante-chile/628679/>

ChileFlora. (2007). *Hydrocotyle ranunculoides*. Recuperado 4 de diciembre de 2019, de <http://www.chileflora.com/Florachilena/FloraSpanish/HighResPages/SH1368.htm>

CNDU. (2019). LUN: Ránking de comunas que más gastan energía eléctrica en el hogar: busque la suya. – Consejo Nacional de Desarrollo Urbano. Recuperado 10 de noviembre de 2019, de <https://cndu.gob.cl/lun-ranking-de-comunas-que-mas-gastan-energia-electrica-en-el-hogar-busque-la-suya/>

Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>

Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Recuperado 3 de junio de 2019, de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1kO-2J5aDljQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=humedal+artificial&ots=Kij9x2w05l&sig=5lZVqQ35bni3d-N1A1NM8jqLDWxo#v=onepage&q=humedal%20artificial&f=false>

Dirección General de Aeronáutica Civil. (2019, junio). Dirección Meteorológica de Chile. Recuperado 5 de junio de 2019, de <http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>

Donoso, M. (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012—2025. 40.

Elizabeth Tillet, Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! Recuperado 11 de noviembre de 2019, de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-san->

[eamiento/tratamiento-semi-centralizado/humedal-artificial-de-flujo-horizontal-subsuperficial](https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-san-)

EMOL, E. M. (2019a, septiembre 22). Gobierno respalda desalinización del agua para combatir sequía: «Llegó la hora de mirarla en serio para dar una real solución» | Emol.com. Recuperado 29 de octubre de 2019, de Emol website: <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2019/09/22/961894/crisis-hidrica-agua-desalinizacion-Gobierno.html>

EMOL, E. M. (2019b, octubre 29). Aumento en el nivel del mar: Científicos advierten que 300 millones de personas podrían sufrir inundaciones para 2050 | Emol.com. Recuperado 29 de octubre de 2019, de Emol website: <https://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2019/10/29/965732/nivel-mar-aumento-zonas-riesgo.html>

Encinas, F. (2012, enero). Probabilistic Analysis of Passive Cooling Strategies and Occupant Behaviour for improving the summer confort conditions in apartments of the Santiago real estate market. Recuperado 3 de junio de 2019, de Researchgate website: https://www.researchgate.net/publication/264159950_Probabilistic_Analysis_of_Passive_Cooling_Strategies_and_Occupant_Behaviour_for_improving_the_summer_confort_conditions_in_apartments_of_the_Santiago_real_estate_market

EULA. (2018). HUMEDALESCONSTRUIDOS DISEÑO Y OPERACIÓN. Recuperado 26 de agosto de 2019, de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/09/HUMEDALES-CONSTRUIDOS-DISEÑO-Y-OPERACIÓN-C3%91O-Y-OPERACIÓN-C3%93N.pdf>

Evapotranspiración Del Cultivo: Guías Para Determinación Los Requerimientos De Agua De Los Cultivos. (2006). Food & Agriculture Org.

Fundación Kennedy. (s. f.). Todo sobre Humedales. Recuperado 29 de octubre de 2019, de Fundación Kennedy website: <http://www.fundacionkennedy.cl/que-son-los-humedales/>

Helliker, B., & Richter, S. (2008). Subtropical to boreal convergence of tree-leaf temperatures. *Nature*, 454, 511-514. <https://doi.org/10.1038/nature07031>

Instituto Geográfico Militar. (1960). Avance topográfico del Gran Santiago. Panel n° 3 Las Condes.

International Energy Agency. (2018, 05). Future of cooling. Recuperado 3 de junio de 2019, de <https://www.iea.org/futureofcooling/>

Jensen, M. E., & Haise, H. R. (1963). Estimating Evapotranspiration from Solar Radiation. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41.

Larraín, S. (2006). El agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del mercado*. 29.

Lomas, K. J., & Eppel, H. (1992). Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings*, 19(1), 21-44. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90033-D](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90033-D)

LUN. (2019). Ranking de comunas que más gastan energía eléctrica en el hogar: Busque la suya. Recuperado 2 de septiembre de 2019, de <http://www.lun.com/Pages/News-Detail.aspx?dt=2019-04-25&NewsID=426167&Body-ID=0&PaginaId=20>

Martins, A. (2019, junio 5). Qué es el efecto de la isla de

calor y por qué debe preocupar a las ciudades de América Latina. *BBC News Mundo*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48531389>

Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). Inventario nacional de especies de Chile. Recuperado 4 de diciembre de 2019, de http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_independ.aspx?EspecieId=2169

National Institute of Building Sciences. (2015). A Common Definition for Zero Energy Buildings. U.S. Department of Energy.

Olguín, G. (2018, agosto 10). Tres humedales de región de Valparaíso son prioritarios en Chile para su conservación. Recuperado 10 de noviembre de 2019, de BioBioChile—La Red de Prensa Más Grande de Chile website: <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-valparaiso/2018/08/10/tres-humedales-de-region-de-valparaiso-seran-prioritarios-a-nivel-nacional-para-conservacion.shtml>

ONU. (2016, enero 11). Cambio climático. Recuperado 29 de octubre de 2019, de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

Ortiz, J. (2019, marzo 21). AGUA: Yo consumo, tú consumes, ellos consumen, ¿todos derrochamos? Recuperado 26 de agosto de 2019, de CEDEUS website: <https://www.cedeus.cl/agua-yo-consumo-tu-consumes-ellos-consumen-todos-derrochamos/>

Pérez Quintero, F., Guardia Puelbas, Y., & Rodríguez Pérez, S. (2017). La fitoremediación para el tratamiento de aguas de piscinas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 101-113.

POLY Industries. (2018, junio 14). How Much Water Do Swimming Pools Lose Each Day? Recuperado 26 de agosto de 2019, de National Poly Industries website: <https://www.nationalpolyindustries.com.au/2018/06/14/how-much-water-do-swimming-pools-lose-each-day/>

www.nationalpolyindustries.com.au/2018/06/14/how-much-water-do-swimming-pools-lose-each-day/

Raúl Obrecht. (2016). Caracterización del consumo energético residencial en la región metropolitana y análisis de escenarios de eficiencia energética. 92.

Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa 12. Nakuru, (Kenya); 22-26 Nov. 2004. Proceedings. (2004). CIMMYT.

Registro Nacional de Áreas Protegidas. (2019). Humedal de la desembocadura del Río Lluta. Recuperado 10 de noviembre de 2019, de Bdrnap website: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/ficha?ficha=WDPA-116>

Rosenberg, N. J., Blad, B. L., & Verma, S. B. (1983). Microclimate: The Biological Environment. John Wiley & Sons.

Sánchez Martínez, M., & Carvacho Bart, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (50), 171-186. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000300010>

Schleifer, L., Reig, P., & Hofste, R. W. (2019, agosto 6). 17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress. Recuperado 11 de noviembre de 2019, de World Resources Institute website: <https://www.wri.org/blog/2019/08/17-countries-home-one-quarter-world-population-face-extremely-high-water-stress>

Seguel, A. (2018). Hacia la urgente necesidad de proteger humedales | Mapuexpress. Recuperado 10 de noviembre de 2019, de <http://www.mapuexpress.org/?p=23968>

Shi, Y., Zhang, G., Lui, J., Zhu, Y., & Xu. (2011). Performance of a constructed wetland in treating brackish

SISS. (2019). Mapas Consumo de Agua Potable. Recuperado 26 de agosto de 2019, de Superintendencia de Servicios Sanitarios website: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-9097.html>

SSiS (Ed.). (2011). Manual para el hogar. Recuperado de https://www.siss.gob.cl/586/articles-8644_Manual_para_hogar.pdf

SSiS (Ed.). (2019). Manual para el consumo responsable de agua potable. Recuperado de http://www.siss.gob.cl/586/articles-9103_recurso_1.pdf

Vladilo, M. J. B. (2010). Analisis comparativo de la evotranspiracion obtenida mediante distintas ecuaciones empiricas aplicadas a la zona agricola de Chillan. 68.

Weather Atlas. (2019). Santiago, Chile—Información detallada del clima y previsión meteorológica mensual. Recuperado 5 de agosto de 2019, de <https://www.weather-atlas.com/es/chile/santiago-clima>

Weather Data | EnergyPlus. (2019). Recuperado 10 de noviembre de 2019, de <https://energyplus.net/weather>

7. Anexos

N humedales	Altura edificio	Relación ancho/largo	Orientación	Radiación Anual	Tamaño vivienda	Demanda Enfriamiento	Calor Absorvido Hora	Radiación Diaria	Radiacion Diaria	Radiacion Diaria
Binario	Binario	Binario	Binario	KWh/m2	M2	KWh	Wh/m2	KWh/m2	MJ/m2	mm/m2/dia
0,0	0,0	0,0	0,0	799	162	14456	79,76	2,19	7,88	3,22
0,0	0,0	0,0	1,0	799	162	14456	79,76	2,19	7,88	3,22
0,0	0,0	0,0	2,0	825	162	14209	82,35	2,26	8,14	3,32
0,0	0,0	0,0	3,0	825	162	14209	82,35	2,26	8,14	3,32
0,0	0,0	1,0	1,0	899	162	14508	89,74	2,46	8,87	3,62
0,0	0,0	1,0	2,0	789	162	14343	78,76	2,16	7,78	3,18
0,0	0,0	2,0	0,0	671	162	14540	66,98	1,84	6,62	2,70
0,0	0,0	2,0	2,0	845	162	14237	84,35	2,32	8,33	3,40
0,0	0,0	2,0	3,0	845	162	14258	84,35	2,32	8,33	3,40
1,0	0,0	0,0	1,0	677	162	14686	67,58	1,85	6,68	2,73
1,0	0,0	1,0	2,0	560	162	14521	55,90	1,53	5,52	2,25
1,0	0,0	2,0	0,0	538	162	15009	53,70	1,47	5,31	2,17
1,0	0,0	2,0	2,0	526	162	14807	52,51	1,44	5,19	2,12
2,0	0,0	0,0	3,0	301	162	27967	30,05	0,82	2,97	1,21
2,0	0,0	1,0	0,0	281	162	28089	28,05	0,77	2,77	1,13
2,0	0,0	1,0	3,0	303	162	27976	30,25	0,83	2,99	1,22
2,0	0,0	2,0	0,0	225	162	28045	22,46	0,62	2,22	0,91
2,0	0,0	2,0	1,0	265	162	28001	26,45	0,73	2,61	1,07
0,0	1,0	0,0	0,0	393	324	24719	39,23	1,08	3,88	1,58
0,0	1,0	0,0	1,0	409	324	24719	40,83	1,12	4,03	1,65
0,0	1,0	0,0	2,0	393	324	24530	39,23	1,08	3,88	1,58
0,0	1,0	1,0	0,0	382	324	24788	38,13	1,05	3,77	1,54
0,0	1,0	1,0	1,0	439	324	24762	43,82	1,20	4,33	1,77
0,0	1,0	2,0	0,0	345	324	24555	34,44	0,95	3,40	1,39
0,0	1,0	2,0	1,0	421	324	24370	42,03	1,15	4,15	1,69
1,0	1,0	0,0	0,0	255	324	24631	25,45	0,70	2,52	1,03
1,0	1,0	0,0	1,0	255	324	24663	25,45	0,70	2,52	1,03
1,0	1,0	0,0	2,0	252	324	24411	25,16	0,69	2,49	1,01
1,0	1,0	0,0	3,0	252	324	24433	25,16	0,69	2,49	1,01
1,0	1,0	1,0	0,0	245	324	24526	24,46	0,67	2,42	0,99
1,0	1,0	1,0	2,0	243	324	24367	24,26	0,67	2,40	0,98

ETo	Calor Absorvido Dia	Calor Absorvido
mm/m2/dia	KWh/m2	KWh/m2
1,406	0,957	0,080
1,406	0,957	0,080
1,451	0,988	0,082
1,451	0,988	0,082
1,582	1,077	0,090
1,388	0,945	0,079
1,180	0,804	0,067
1,487	1,012	0,084
1,487	1,012	0,084
1,191	0,811	0,068
0,985	0,671	0,056
0,946	0,644	0,054
0,925	0,630	0,053
0,530	0,361	0,030
0,494	0,337	0,028
0,533	0,363	0,030
0,396	0,270	0,022
0,466	0,317	0,026
0,691	0,471	0,039
0,720	0,490	0,041
0,691	0,471	0,039
0,672	0,458	0,038
0,772	0,526	0,044
0,607	0,413	0,034
0,741	0,504	0,042
0,449	0,305	0,025
0,449	0,305	0,025
0,443	0,302	0,025
0,443	0,302	0,025
0,431	0,293	0,024
0,427	0,291	0,024

ANEXO 1, "Tabla Resultados Iteraciones"
La tabla muestra todos los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, en donde se pueden observar valores de radiación en el humedal y el ETo calculado.
Las primeras cuatro columnas se encuentran en binario ya que de esta manera se introdujeron en el modelo Monte Carlo LHS.
1ra Columna: 0,0 = 1 humedal
1,0 = 2 humedales
2,0 = 3 humedales
2da Columna: 0,0 = 3m
1,0 = 6m
2,0 = 9m
3ra Columna: 0,0 = 1:1
1,0 = 1:2
2,0 = 1:4
4ta Columna: 0,0 = 0°
1,0 = 90°
2,0 = 45°
3,0 = 135°

N humedales	Altura edificio	Relación ancho/largo	Orientación	Radiación Anual	Tamaño vivienda	Demanda Enfriamiento	Calor Absorvido Hora	Radiación Diaria	Radiacion Diaria	Radiacion Diaria
Binario	Binario	Binario	Binario	KWh/m2	M2	KWh	Wh/m2	KWh/m2	MJ/m2	mm/m2/dia
2,0	1,0	0,0	2,0	61	324	55837	6,09	0,17	0,60	0,25
2,0	1,0	1,0	1,0	55	324	55798	5,49	0,15	0,54	0,22
2,0	1,0	1,0	3,0	68	324	55737	6,79	0,19	0,67	0,27
2,0	1,0	2,0	1,0	44	324	55531	4,39	0,12	0,43	0,18
0,0	2,0	0,0	0,0	234	486	34780	23,36	0,64	2,31	0,94
0,0	2,0	0,0	2,0	234	486	34617	23,36	0,64	2,31	0,94
0,0	2,0	0,0	3,0	237	486	34617	23,66	0,65	2,34	0,95
0,0	2,0	1,0	0,0	235	486	34797	23,46	0,64	2,32	0,95
0,0	2,0	2,0	0,0	228	486	34442	22,76	0,62	2,25	0,92
0,0	2,0	2,0	1,0	225	486	34226	22,46	0,62	2,22	0,91
0,0	2,0	2,0	3,0	244	486	34296	24,36	0,67	2,41	0,98
1,0	2,0	0,0	0,0	148	486	34326	14,77	0,41	1,46	0,60
1,0	2,0	0,0	2,0	151	486	33887	15,07	0,41	1,49	0,61
1,0	2,0	0,0	3,0	151	486	33916	15,07	0,41	1,49	0,61
1,0	2,0	1,0	1,0	156	486	34164	15,57	0,43	1,54	0,63
1,0	2,0	1,0	2,0	147	486	34009	14,67	0,40	1,45	0,59
1,0	2,0	2,0	1,0	161	486	34157	16,07	0,44	1,59	0,65
1,0	2,0	2,0	2,0	153	486	34037	15,27	0,42	1,51	0,62
2,0	2,0	0,0	0,0	18	486	83670	1,80	0,05	0,18	0,07
2,0	2,0	0,0	2,0	18	486	83870	1,80	0,05	0,18	0,07
2,0	2,0	0,0	3,0	17	486	83916	1,70	0,05	0,17	0,07
2,0	2,0	1,0	0,0	23	486	83730	2,30	0,06	0,23	0,09
2,0	2,0	1,0	2,0	14	486	83650	1,40	0,04	0,14	0,06
2,0	2,0	1,0	3,0	20	486	83610	2,00	0,05	0,20	0,08
2,0	2,0	2,0	0,0	24	486	83295	2,40	0,07	0,24	0,10
2,0	2,0	2,0	1,0	18	486	83250	1,80	0,05	0,18	0,07

ETo	Calor Absorvido Dia	Calor Absorvido
mm/m2/dia	KWh/m2	KWh/m2
0,107	0,073	0,006
0,097	0,066	0,005
0,120	0,081	0,007
0,077	0,053	0,004
0,412	0,280	0,023
0,412	0,280	0,023
0,417	0,284	0,024
0,413	0,281	0,023
0,401	0,273	0,023
0,396	0,270	0,022
0,429	0,292	0,024
0,260	0,177	0,015
0,266	0,181	0,015
0,266	0,181	0,015
0,274	0,187	0,016
0,259	0,176	0,015
0,283	0,193	0,016
0,269	0,183	0,015
0,032	0,022	0,002
0,032	0,022	0,002
0,030	0,020	0,002
0,040	0,028	0,002
0,025	0,017	0,001
0,035	0,024	0,002
0,042	0,029	0,002
0,032	0,022	0,002

ANEXO 1, "Tabla Resultados Iteraciones"
La tabla muestra todos los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, en donde se pueden observar valores de radiación en el humedal y el ETo calculado.
Las primeras cuatro columnas se encuentran en binario ya que de esta manera se introdujeron en el modelo Monte Carlo LHS.
1ra Columna: 0,0 = 1 humedal
1,0 = 2 humedales
2,0 = 3 humedales
2da Columna: 0,0 = 3m
1,0 = 6m
2,0 = 9m
3ra Columna: 0,0 = 1:1
1,0 = 1:2
2,0 = 1:4
4ta Columna: 0,0 = 0°
1,0 = 90°
2,0 = 45°
3,0 = 135°