

# Suelo permeable y vegetación continua en los conjuntos habitacionales modernos: análisis de tres casos en el sector sur de Santiago de Chile

Permeable soil and continuous vegetation in modern housing complexes: analysis of three cases in the southern sector of Santiago, Chile

<sup>1</sup>Rodrigo Eduardo Gertosio Swanston\* <sup>2</sup>Francisca Pantoja Lira\*\*

## RESUMEN

Incrementar la vegetación urbana es una de las estrategias para mitigar los efectos del cambio climático por varias razones, entre otras, aminorar el aumento de la temperatura en las ciudades. Este incremento no solo se refiere a aumentar el número de árboles, sino también, exige descubrir dónde es mejor hacerlo a gran escala.

El objetivo de este estudio es demostrar que los conjuntos habitacionales de la Corporación de la Vivienda (CORVI) construidos a finales de la década de 1960 poseen tres condiciones particulares en el suelo, que permiten la presencia no solo masas de vegetación continua, sino que pueden albergar su incremento a escala urbana, y con ello, contribuir a disminuir la temperatura al interior de los conjuntos.

Mediante una lectura cruzada de imágenes satelitales, índices de vegetación (NDVI), y mapas de temperatura superficial de suelo (LST) se analizan tres casos en distintas comunas del sur de Santiago, que presentan bajos índices de áreas verdes por habitante. Los resultados indican que, independiente de la ubicación de los casos en la capital, los amplios porcentajes de suelo que no han sido sellados posibilitan la presencia de una cubierta vegetal arbórea, arbustiva y herbácea concentrada entre los bloques, y continua fuera de sus límites. Incluso en

el caso con poca vegetación, pero con el suelo no sellado, la temperatura superficial también disminuye en relación a su contexto inmediato. Es importante destacar que estas características no son exclusivas de estos ejemplos, sino que están presentes de diversas formas en 105 conjuntos y sus 2082 bloques en Chile. Este amplio universo de casos los convierte en áreas potencialmente idóneas para incrementar la vegetación urbana y con ello, disminuir el incremento de la temperatura urbana producto del cambio climático.

## Palabras clave

*Vegetación urbana; servicios ecosistémicos; arquitectura moderna; CORVI; paisaje urbano*

## ABSTRACT

*Increasing urban vegetation is one of the strategies to mitigate the effects of climate change for several reasons, including slowing the rise in temperature in cities. This is not only about increasing the number of trees but also about finding where it is best to do so on a large scale. The objective of this study is to demonstrate that the housing complexes of the Corporación de la Vivienda (CORVI) built at the end of the 1960s, have three particular soil conditions that not only allow for*

*the presence of continuous masses of vegetation but can also accommodate its increase on an urban scale, and thus contribute to lowering the temperature inside the complexes.*

*Through a cross reading of satellite images, vegetation indices (NDVI), and soil surface temperature (LST) maps, three cases are analyzed in different communes in the south of Santiago, which have low rates of green areas per inhabitant.*

*The results indicate that independent of the location of the cases in the capital, the large percentages of soil that have not been sealed allow the presence of tree, shrub, and herbaceous vegetation cover concentrated between the blocks and continuous outside their boundaries. Even*

*in the case of little vegetation but with unsealed soil, the surface temperature also decreases in its immediate context. It is important to note that these characteristics are not exclusive to these examples but are present in various forms in 105 assemblages and their 2082 blocks in Chile. This broad universe of cases makes them potentially suitable areas for increasing urban vegetation and reducing the increase in urban temperature due to climate change.*

#### **Keywords**

*Urban vegetation; ecosystem services; modern architecture; CORVI; urban landscape*

## INTRODUCCIÓN

Los amplios espacios verdes son parte del paisaje de numerosos conjuntos habitacionales de arquitectura moderna. En ellos, múltiple vegetación rodea accesos, antejardines y patios, acompañan senderos, y cubren plazas. Incluso desde el aire, se observa cómo la vegetación no sólo rodea cada bloque aisladamente, sino que forma distintas continuidades entre senderos, plazas, parques y avenidas.

Sus beneficios son ampliamente conocidos desde las ciencias naturales, en especial cuando estos espacios verdes se encuentran concentrados y continuos. De este modo, los espacios verdes promueven una serie de servicios ecosistémicos, es decir, contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar de las personas (De Groot et al., 2010; The Economics of Ecosystems and Biodiversity [TEEB], 2011). Por ejemplo, reducen la temperatura superficial, logrando generar una mejor regulación del microclima (Fan et al., 2015, Pérez Jara y De la Barrera, 2021).

En ese sentido, una de las principales estrategias para enfrentar los efectos del calentamiento global es la utilización de la vegetación, especialmente del arbolado urbano (Reyes, 2019), fomentando la creación de bosques urbanos (Díaz y Curiel, 2012). Junto con la elección de distintas especies arbóreas bajo criterios de sostenibilidad, especialmente nativas, es relevante analizar también qué espacios en la ciudad podrían albergar un incremento del arbolado a gran escala.

El presente artículo sostiene que los conjuntos habitacionales de la antigua Corporación de Vivienda (CORVI) poseen tres condiciones particulares de calidad y cantidad en su suelo, que los convierten en áreas idóneas para albergar vegetación continua y a gran escala, y con ello, disminuir la temperatura interior en los conjuntos. Asimismo, la calidad de sus suelos proviene, a su vez, de dos factores: urbanos y preexistentes. Los primeros, son producto de una relación asimétrica entre un bajo porcentaje de ocupación de suelo sellado por bloques, calles y pasajes propio del diseño urbano moderno, contrario a un amplio porcentaje de suelo abierto y absorbente. Los segundos, producto que comúnmente fueron construidos sobre antiguas chacras agrícolas activas en la periferia de las ciudades, es decir, sobre suelos fértiles. Por último, estas características se encuentran no solo en los casos de estudio, sino que dentro de los 105 conjuntos habitacionales construidos a lo largo de Chile.

Mediante una lectura cruzada de imágenes satelitales, índices de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés<sup>1</sup>) y mapas de temperatura superficial de suelo (LST, por sus siglas en inglés<sup>2</sup>), se analizan tres casos en distintas comunas del centro sur de Santiago, donde la presencia de un amplio porcentaje de suelo abierto y absorbente se relaciona con la presencia de vegetación continua. Por consiguiente, disminuye la temperatura de la superficie en su interior.

Finalmente, se estima que la gran cantidad de superficie de conjuntos de similares características los convierte en espacios idóneos para albergar numerosa vegetación continua al interior de las ciudades, y con ello atenuar las alzas de temperaturas producto del cambio climático.

## MARCO TEÓRICO

### Los espacios verdes en los conjuntos habitacionales de arquitectura moderna

Es ampliamente conocido que una de las raíces fundamentales de la arquitectura moderna proviene de las perspectivas sanitarias introducidas por la ciencia médica. Por ejemplo, los aspectos higiénicos, la antisepsia y la helioterapia. Para disipar los virus y bacterias presentes en el ambiente hacia finales del siglo XIX, la ventilación y el asoleamiento fueron las claves para generar cambios arquitectónicos primero en los hospitales, hasta ciudades completas. Por esto, la arquitectura moderna ha sido considerada patrimonio universal: por

<sup>1</sup>Normalized Difference Vegetation Index.  
<sup>2</sup>Land Surface Temperature.

su capacidad de condensar los avances del conocimiento humano en aspectos higiénicos y ambientales (Sato, 2020).

Una de las claves espaciales de esta modernidad consistió en abrir fachadas y espacios interiores para obtener una adecuada luz del sol; aprovechar que los vientos limpien el aire y la vegetación la circunde. Lo anterior, no solo con fines ornamentales, sino también para capturar y traspasar las bondades medioambientales con la finalidad del bienestar de su población. Bajo esta ecuación, los edificios en serie son los que asumieron la composición del conjunto para promover el asoleamiento, la ventilación, y las áreas verdes para un barrio completo. En otras palabras, en la forma de combinar los bloques de vivienda se condicionó cierto grado de facilidad (o de incentivo) para incorporar a la naturaleza (Montaner, 2008).

En este sentido, los conjuntos habitacionales de arquitectura moderna son proyectos de vivienda colectiva y económica, construidos masivamente a mediados del siglo XX. Si bien poseen incontables formas y tamaños, se caracterizan por introducir una morfología común: bloques aislados de departamentos de mediana altura dentro de amplias manzanas (macromanzanas). La tipología característica es la Unidad Vecinal, que concentra –además de la vivienda– el equipamiento comercial y educacional al centro, junto con redes de senderos peatonales y pequeños pasajes, mientras que, en el exterior, se encuentran las vías vehiculares mayores.

En Chile, la producción habitacional de las características anteriormente descritas asciende a numerosos casos en la mayoría de las grandes ciudades. En ellos, sus espacios verdes, entendidos como todos los espacios naturales, seminaturales y artificiales, dentro y alrededor de las ciudades, cuya característica es el predominio de la cobertura vegetal (Maruani y Amit-Cohen, 2007; Tzoulas *et al.*, 2007), forman ecosistemas artificiales compuestos por un amplio conjunto de relaciones simbióticas entre sus factores vivos y no vivos. Dentro de los primeros, se encuentra toda la flora compuesta por arbustos, flores, árboles, césped, etc. Los segundos, en la orientación de la arquitectura para aprovechar el sol, en tanto luz y temperatura, así como su distancia para permitir el paso del viento para ventilarlos. Ambos factores se complementan en el proyecto urbano formando patrones que, al repetirse, crean una imagen urbana semejante.

### **Los suelos permeables de Santiago, y los servicios ecosistémicos de la vegetación urbana**

Desde las ciencias naturales, es ampliamente conocido como los suelos y la vegetación, en contextos urbanos, brindan una serie de servicios ecosistémicos. En otras palabras, aportan una serie de beneficios obtenidos de los ecosistemas. Estos beneficios –presentes sobre y bajo suelo– representan no solo la base para la vegetación, sino que también poseen una serie de beneficios que comúnmente no se aprecian fácilmente. Por ejemplo, la absorción de aguas lluvia

y la consecuente disminución del escurrimiento superficial que ayuda a mitigar el riesgo de inundación. De hecho, en la mayoría de los ecosistemas naturales, el 90% del flujo de aguas hacia los arroyos se produce a través de flujo subterráneo (Kaye *et al.* 2006), influyendo en todos los procesos hidrológicos, lo que incluye la descontaminación de las aguas gracias al efecto de las raíces (Wang *et al.*, 2008).

En Chile, los suelos de Santiago han jugado un rol relevante para la ciudad, incluso desde antes de que adoptara su nombre actual. Así, el territorio ha sido ocupado, primero, por múltiples pueblos nómadas y, posteriormente, el imperio incaico que introdujo la producción de alimentos (Stehberg y Sotomayor, 2012). Años después, en el siglo XVIII, los suelos sobre los cuales yace la ciudad de Santiago fueron fundamentales para el crecimiento y consolidación de la economía del territorio, gracias a la importante producción de trigo que se generó desde Aconcagua hasta Colchagua.

Esta alta fertilidad no es una característica común y generalizada en todos los suelos del país, considerando que solo el 6,13% de la superficie nacional corresponde a suelo arable. De ellos, los menos representados a lo largo del país son los suelos de clase I (Pfeiffer *et al.*, 2019), los cuales poseen mínimas limitaciones de uso y se consideran con el mayor potencial agrícola, pues corresponden a “suelos planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad, y la fertilidad natural es buena, o responden de muy buena forma a las aplicaciones de fertilizantes” (Centro de Información de Recursos Naturales [CIREN], 1996).

Es importante destacar que el tipo de suelo descrito es escaso y se encuentra mayoritariamente en las regiones Metropolitana y Valparaíso. Estas poseen una alta presión de cambio de uso a causa del desarrollo urbano e industrial (Pfeiffer *et al.*, 2019), por lo que se encuentran altamente amenazados en el entorno urbano y periurbano. En el interior de las ciudades, los suelos permeables son muy escasos, pero altamente relevantes por sus múltiples servicios ecosistémicos que permiten no solo la infiltración de agua, sino que también una importante purificación de contaminantes, los cuales son especialmente abundantes en entornos urbanos (Yang y Zhang, 2015).

Sobre el suelo, la vegetación urbana tiene múltiples beneficios, por ejemplo, la capacidad de purificar el aire al absorber el anhídrido carbónico y emitir oxígeno por medio de la fotosíntesis, además de limpiar el aire de impurezas gracias a la fijación electrostática y aceitosa de las partículas de polvo. Además, contribuyen a mejorar la biodiversidad, es decir, aumentar el número de poblaciones de organismos y especies distintas, incluyendo la diversidad de sus interacciones con su ambiente inmediato (Elmqvist *et al.*, 2015). Mientras más antiguas, las áreas verdes tienden a ser más biodiversas, ya que poseen un mayor equilibrio en su vegetación, ya que la sucesión de dichos ecosistemas suele estar más avanzada que las áreas verdes recientes (McKinney, 2008).

Según últimos descubrimientos sobre los árboles, es de público conocimiento que son capaces de detectar desde infestaciones de insectos en especímenes cercanos, hasta el empleo de la guerra bioquímica contra la competencia potencial de otros árboles (Hobbs, 2020). Por último, es importante destacar que los árboles son verdaderos sumideros naturales que secuestran gran cantidad de carbono en su materia vegetal y en el suelo. Cuando no hay presencia de árboles, el carbono que retienen se vierte a la atmósfera, aumentando el efecto invernadero responsable del cambio climático (Yanes, 2020). Por todo lo anterior, es que los principales servicios para la mitigación de los efectos del cambio climático son el secuestro de carbono, la atenuación del efecto de isla de calor urbana y el almacenamiento de agua en el subsuelo, entre otros (Vásquez, 2016).

En el contexto de esta investigación, conviene destacar que la vegetación urbana provoca el efecto de humedecimiento del aire, por su mecanismo de evapo-transpiración (emisión de vapor de agua por medio del follaje), contribuyendo a aumentar la humedad relativa del aire, reduciendo las temperaturas extremas de los espacios interiores y exteriores, y la radiación solar en las superficies tanto de la arquitectura como del suelo. También protegen del viento formando barreras a la vez que posibilitan las corrientes de aire (Garzón *et al.*, 2004).

Al respecto, múltiples autores han planteado que la incorporación de infraestructura verde, considerando parques, plazas, jardines, entre otros, podría ser fundamental para evitar la degradación de los suelos en ambientes urbanos, además de dar respuesta a las crecientes necesidades y demandas de la población urbana, usando un enfoque de Nature Base Solutions (NBS), es decir, encontrar soluciones basadas en la naturaleza (Elmqvist *et al.*, 2015; Laforzezza *et al.*, 2018). Este cambio de paradigma no es solo social y ecológicamente deseable, sino que también ha demostrado ser económicamente viable, por lo que se alza como una alternativa importante para aumentar la resiliencia de las ciudades a través de la gestión de los espacios urbanos y sus suelos (Elmqvist *et al.*, 2015; Laforzezza *et al.*, 2018).

Sin embargo, la instalación de nueva infraestructura verde representa desafío importante, ya que puede generar conflictos en torno al uso del espacio y el costo de construcción, considerando que muchas veces los suelos sobre los cuales se instalan este tipo de NBS, ya se encuentran profundamente degradados, siendo necesario remover los suelos, aplicar fertilizantes e incluso, en algunos casos, debe reemplazarse el sustrato original (Deeb *et al.*, 2020). Por lo demás, la consolidación de la nueva vegetación es altamente desafiante, considerando que depende de múltiples condiciones que son difíciles de proveer en la ciudad, incluyendo buenos niveles de agua, luz, nutrientes, baja contaminación, compactación de suelos, entre otros factores estresores propios del ambiente urbano (Deeb *et al.*, 2020).

Desde esta perspectiva, las áreas verdes urbanas representan espacios de alta relevancia, no solo para evitar la degradación y com-

pactación de los suelos urbanos, sino que también contribuyen a la resiliencia de la ciudad frente al cambio climático de forma segura y económica, junto a la vegetación que ya se encuentra adaptada a las condiciones del lugar.

## METODOLOGÍA

Con el fin de analizar cómo la morfología urbana de los conjuntos habitacionales modernos promueve espacios verdes continuos, y de qué manera inciden en la reducción de la temperatura se analizarán tres conjuntos habitacionales de similares características formales, construidos entre 1968 y 1970, ubicados en diferentes comunas de Santiago que se caracterizan por poseer un bajo índice de vegetación por habitante. Para su análisis se utilizarán imágenes satelitales, el Índice de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI), y el indicador de temperatura superficial de la tierra (LST, por su sigla en inglés) para cada uno. En este sentido, lo relevante de los casos seleccionados reside en que permiten comparar conjuntos de características arquitectónicas similares.

### Instrumentos de teledetección utilizados

El índice NDVI es un indicador de la biomasa fotosintéticamente activa. Permite ubicar espacialmente la vegetación, cuantificar su densidad, y determinar sus formas de agrupación o fragmentación (Hyun Woo, 2017). Se obtiene mediante la reflectancia espectral de la vegetación a través de diferentes bandas medidas por un sensor. Es una combinación matemática de dos o más bandas espectrales, que mejora el contraste entre la vegetación sana y la vegetación enferma, o que presenta cierto nivel de nutrición, principalmente relacionado la actividad fotosintética de la planta y su nivel de clorofila, considerando que este pigmento genera una gran absorción de la luz roja visible, disminuyendo la reflectancia que puede ser captada por el satélite.

Los valores de NDVI se clasifican en 5 categorías:

1. Suelo sin vegetación ( $<0,2$ );
2. Poca vegetación ( $0,2-0,4$ );
3. Vegetación media ( $0,4-0,6$ );
4. Vegetación densa ( $0,6-0,8$ ) y
5. Vegetación muy densa ( $>0,8$ ) (Chuvienco, 1999).

Este índice fue realizado a partir de imágenes de Sentinel<sup>2</sup>, con una resolución de 10 x 10 metros y del año 2018. Las imágenes fueron descargadas a través de la plataforma *Google Earth Engine*, aplicando un filtro de nubes menor al 10%. La información satelital corresponde a un período de 4 meses, abarcando los meses de agosto a diciembre de 2018, permitiendo conocer el estado de la vegetación en ese momento.

Por su parte, la capa de temperatura superficial del suelo LST (*Landscape Surface Temperature*) fue elaborada a partir de datos del satélite Landsat 8 recortada al área de estudio usando la plataforma *Google Earth Engine*. Para esto, se generó una búsqueda de imágenes satelitales dentro del año 2018, aplicando un filtro de nubes del 5% para evitar distorsiones en la señal del satélite. Luego, se seleccionó la imagen con menor porcentaje de nubosidad, la cual corresponde al día 25 de marzo del año 2018, a las 14:33 horas. Es pertinente mencionar que esta imagen recoge la reflectancia y radiación de la superficie al momento en que pasa el satélite por la zona, por lo que la información trabajada corresponde a la situación de ese momento.

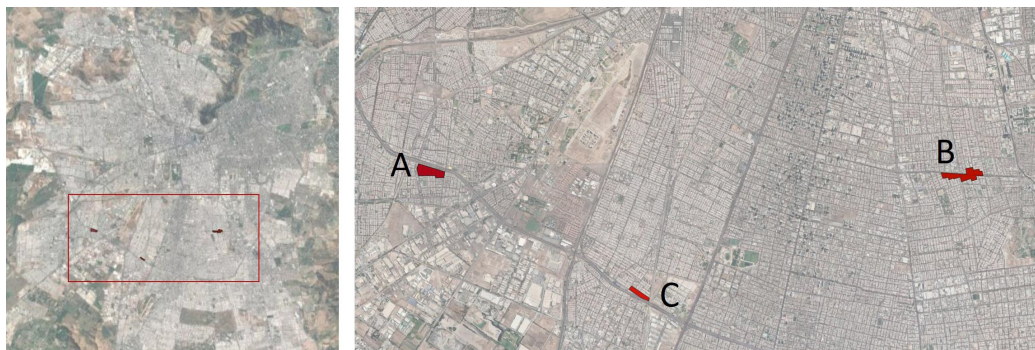
Pese a esto, la visualización de esta capa de información permite identificar las variaciones espaciales de las diferentes temperaturas, por lo que es adecuada para comprender la dinámica y distribución de las temperaturas, incluyendo islas de calor y zonas de menores temperaturas dentro de la ciudad. La temperatura de brillo fue obtenida a través de la información de la banda infrarrojo-térmica (banda 10) del satélite, mientras que emisividad fue calculada a través de la ecuación:  $\epsilon = 0.004 * Pv + 0.986$ . Donde Pv corresponde a la Porción de vegetación, variable obtenida a partir del NDVI siguiendo la ecuación:  $Pv = ((NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}))^2$ .

Finalmente, se evaluó la dependencia lineal entre ambos índices a través del coeficiente de correlación de Pearson para cada villa, mediante el software R. Para esto se ajustó la resolución de NDVI a 30 metros, equiparándola a la capa de temperatura (LST). Ambos ráster fueron recortados siguiendo las dimensiones de cada villa y se generó un análisis de correlación por pixel.

### Los casos de estudio

Se analizan 3 conjuntos habitacionales, constituidos por el mismo bloque habitacional de tipología #1010, en tres comunas del sector sur de Santiago de Chile como se indica en la Figura 1:

**Figura 1**  
Casos de estudio dentro de Santiago de Chile.



**Nota:** Izquierda: mapa de Santiago de Chile, destacando área de estudio; derecha: (A) Villa México (Cerrillos), (B) Villa José Joaquín Bello (San Joaquín), (C) Villa Atilio Mendoza (Lo Espejo). **Fuente:** Elaboración propia.



Villa México (Cerrillos), Villa José Joaquín Bello (San Joaquín) y Villa Atilio Mendoza (Lo Espejo). Estas tres comunas poseen los siguientes índices de áreas verdes por habitante: 10,4 m<sup>2</sup>/hab; 3,3 m<sup>2</sup>/hab; 2,3 m<sup>2</sup>/hab., respectivamente (Atisba, 2011). Estos tres casos fueron construidos sobre antiguas chacras agrícolas activas provenientes de haciendas ubicadas en la periferia de Santiago, a fines de la década de 1960.

El bloque colectivo #1010 es un edificio habitacional de 4 pisos de planta rectangular, con 4 departamentos por piso. Es la tipología más utilizada en Chile entre 1967 y 1970. Fue proyectado por el equipo de diseño de la CORVI formado por Jaime Perelman y Orlando Sepúlveda. Su diseño se basó en la aplicación de criterios de economía, eficiencia y producción en serie, instalando con ello el concepto de diseño racionalizado (Bustos, 2014).

Los conjuntos formados por este bloque tienen la particularidad de ser, al mismo tiempo, proyectos de arquitectura y de urbanismo. Es decir, son conjuntos que en su momento significaron la expansión de la capital hacia las periferias, creando nuevos trazados urbanos. De este modo, fueron construidos 2082 bloques y repartidos en 105 conjuntos a lo largo de todo Chile (Costas y Torrent, 2018). A continuación, se describen brevemente cada uno de ellos.

La Villa México es una Unidad Vecinal construida por la CORVI, en 1970. Está ubicada en la comuna de Cerrillos (Santiago, Chile) junto a la autopista Vespucio Sur. Este conjunto se compone de un área central de casas pareadas de un piso, y bloques 1010 en sus extremos: Américo Vespucio por el norte (sector 3 y 4) y por avenida Esquina Blanca, hacia el sur (sectores 1, 2 y 6). Todo el conjunto se divide por avenida Las Torres y un parque, que atraviesa todo el conjunto. Al centro se localiza el equipamiento, como el estadio municipal Benito Juárez, la parroquia Nuestra Señora de la Reconciliación y la escuela N° 262 Luthar Kommer Bruger.

La Villa Atilio Mendoza es una Unidad Vecinal CORVI ubicada en la comuna de Lo Espejo (Santiago, Chile), junto a la autopista Vespucio Sur. Está compuesta de casas pareadas de un piso y 4 macromanizas con bloques #1010 aislados y pareados. Cuenta con equipamiento menor como locales comerciales aislados, la iglesia de Jesucristo de Los Santos, y la Escuela República de Filipinas.

Por último, la Villa José Joaquín Bello, comuna de San Joaquín (Santiago). Este conjunto está compuesto por un sector de casas, y otro de bloques #1010. Este último sector atravesado por Av. Departamental (oriente poniente) y por Av. Las Industrias (norte-sur). Ambas avenidas se componen de calzadas laterales, y un bandejón central arbolado. Este conjunto fue construido sobre la intersección entre el fundo Quilpué y el fundo La Castrina.

Estas tres villas serán analizadas mediante tres capas de información: *Google Earth*, NDVI y LST. La primera, permite ubicar espacialmente cada conjunto a escala 1:2500, incluyendo parte de su con-

texto. Luego, se observa la ubicación y concentración de sus índices de vegetación más elevados, para posteriormente describir la temperatura superficial del suelo. A continuación, se expone en la Tabla 1 un cuadro comparativo de superficies totales, y como se desglosan entre suelo permeable e impermeable.

**Tabla 1**  
*Las seis lógicas en competencia de la arquitectura sostenible.*

	Villa México	Villa José Joaquín Bello	Villa Atilio Mendoza
<b>Superficie macromanzana</b>	81.498 [m <sup>2</sup> ]	87.150 [m <sup>2</sup> ]	30.598 [m <sup>2</sup> ]
<b>Superficie absorbente</b>	68.5%	88.1%	76.5%
<b>Superficie impermeable</b>	31.5%	11.9%	23.5%
	Edificios 514%	Edificios 11.9%	Edificios 92.6%
	Estacionamientos 46.1%	Estacionamientos 0.00%	Estacionamientos 0.00%
	Otros 2.6%	Otros 6.4%	Otros 7.4%

Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS

En el primer caso, Villa México, las macromanzanas con bloques 1010 se ubican en su extremo norte junto a Av. Américo Vespucio formando un patrón de 4 y 6 bloques (en sentido norte-sur) que crean alternadamente espacios cerrados en su interior (estacionamientos de 45 m de ancho), y espacios abiertos verdes de 27 m de ancho (Figura 2).

Cada paño de estacionamiento es tipo cul de sac, es decir, la entrada y salida vehicular es por el mismo espacio, y se conecta directamente con las calles perimetrales. Sus espacios verdes se componen de vegetación arbórea entre 6 m y 8 m de altura, arbustiva rodeando los senderos y accesos a cada bloque, y herbácea, principalmente formando paños de césped tanto en el parque Las Torres, como al interior del conjunto.

Este paño de estudio posee un área de 81.494 m<sup>2</sup>. Su suelo sellado u hormigonado corresponde a 25.670 m<sup>2</sup> (31.5%), y se compone de los estacionamientos y el área de cada bloque. Por el contrario, el suelo no sellado (o suelo permeable), corresponde a 55.823 m<sup>2</sup>, representando un 68,5% de su superficie.

**Figura 2**  
*Vegetación en Villa México (Cerrillos, Santiago).*



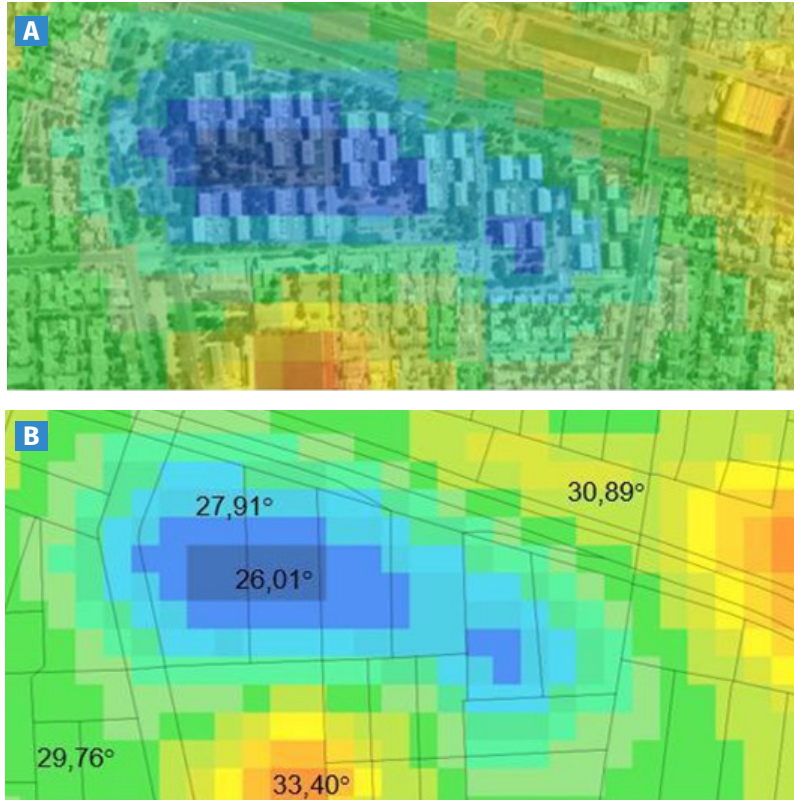
**Nota:** A: Imagen satelital del sector de bloques 1010 en Villa México a escala 1:2500, ubicada entre Américo Vespucio Sur y Av. Las Torres (Cerrillos). B: NDVI del mismo sector. **Fuente:** Elaboración propia.

Al superponer la capa del índice NDVI, es posible distinguir una importante concentración de píxeles de color verde intenso, cuyo índice fluctúan entre 0.35 y 0.56, lo que significa que posee una vegetación media. El extremo norponiente (sector 3) limita con el parque Las Torres, cuyo ancho de 37 metros permite que los píxeles verdes de mayor intensidad se continúen fuera de este conjunto.

Al eliminar la capa NDVI y observar el índice de temperatura superficial de la tierra (LST), es posible apreciar cómo este sector concentra las menores temperaturas de suelo de toda la Unidad Vecinal. El índice muestra una temperatura del suelo de 28,3°C en sus bordes, y 26,1°C al centro, es decir, una diferencia de 2,2°C en 80m de distancia entre ambos extremos.

Como se muestra en el mapa inferior, obtenido al eliminar la capa de la imagen satelital, y destacando las calles y avenidas (representadas por líneas de un mismo grosor), es posible apreciar cómo las menores

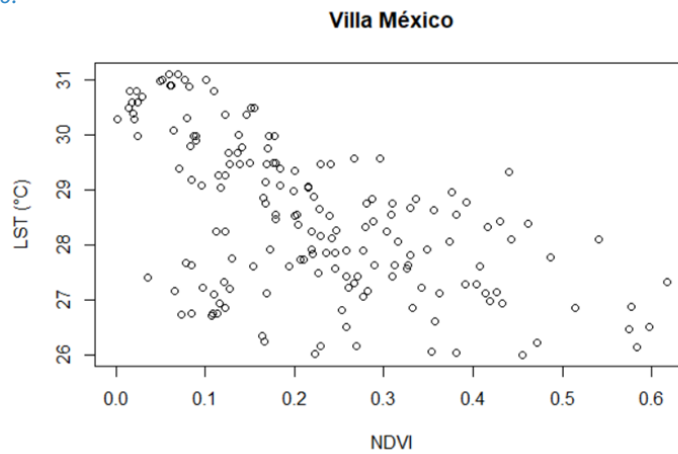
**Figura 3**  
Mapas de temperatura en Villa México (Cerrillos, Santiago).



**Nota:** A: Imagen satelital del sector de bloques 1010 dentro de Villa México con la capa LST con 50% de transparencia. B: LST indicando las temperaturas de suelo y las vías calles vehiculares a escala 1:2500.  
**Fuente:** Elaboración propia.

temperaturas se concentran en manzanas cuyos espacios verdes no son interrumpidos por tránsito vehicular sobre calles o pasajes de hormigón.

**Tabla 2**  
Correlación entre la temperatura superficial en grados Celsius y el NDVI dentro de Villa México.

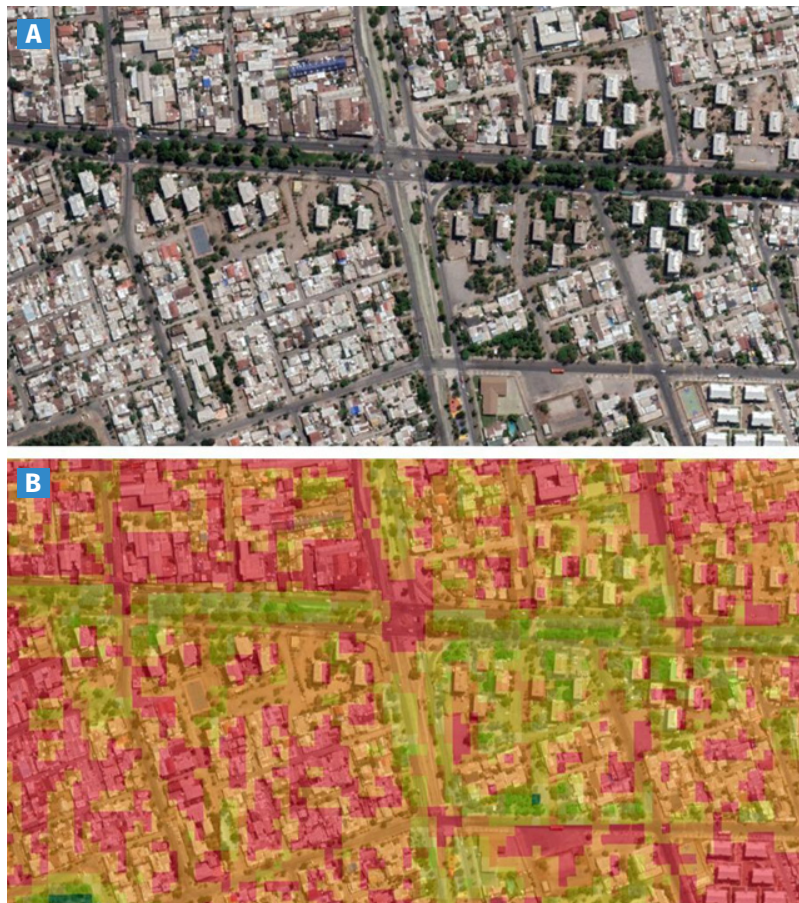


**Fuente:** Elaboración propia.

Por último, es interesante destacar en la Figura 3, cómo las temperaturas que emanan de la masa arbórea dentro del conjunto se expanden y son posibles de apreciar sobre la avenida Américo Vespuccio. Por el contrario, los pixeles de color naranja representan una cancha de césped cuya temperatura superficial de suelo es de 33,7°C, muy por encima de los 28,3°C dentro de los pixeles de azul más intenso. La distancia entre ambas temperaturas es de 214 m.

La Villa México, por su parte, exhibe una correlación significativa ( $p$ -value <0.05) entre la presencia de vegetación densa y la temperatura superficial, presentando un coeficiente de correlación de Pearson de -0.56. Esto refuerza lo mencionado anteriormente, ya que implica que existe una relación inversa entre ambos índices, por lo que las menores temperaturas presentadas dentro de la villa se relacionan con una mayor presencia de vegetación, mientras que zonas con menor vegetación tienden a presentar temperaturas más elevadas, (Tabla 2).

**Figura 4**  
*Vegetación en Villa José Joaquín Bello (San Joaquín).*

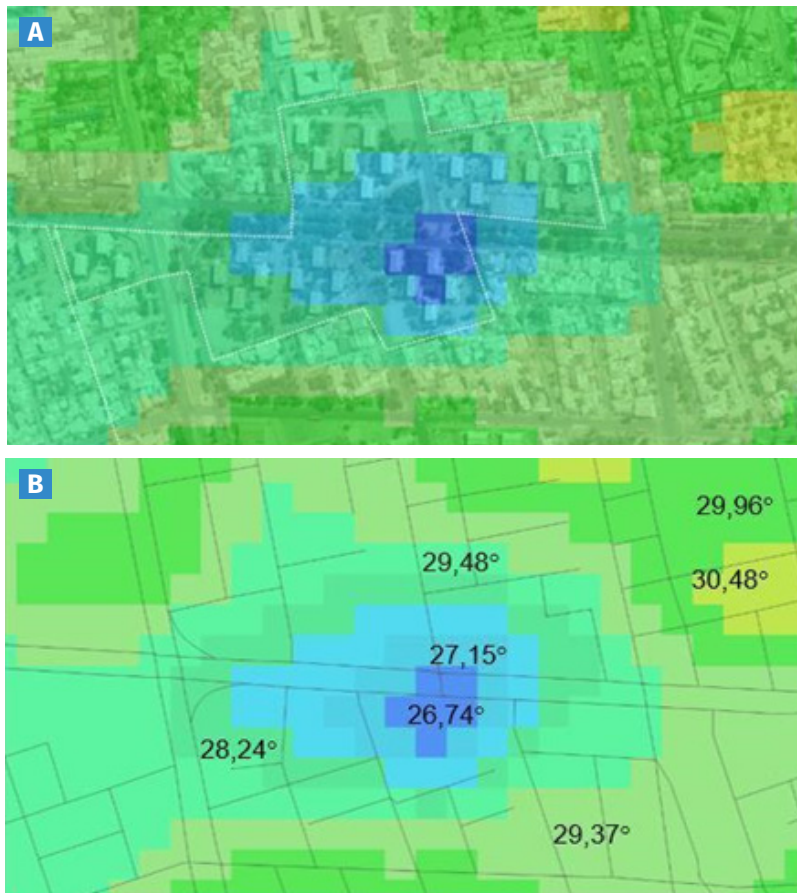


**Nota:** A: imagen satelital del sector de bloques 1010 dentro de Villa José Joaquín Bello. La ubicación es Av. Departamental con Av. Las Industrias. B: Mismo sector con NDVI aplicando un filtro de 50% de transparencia. Escala 1:2500.  
**Fuente:** Elaboración propia.

El segundo caso, Villa José Joaquín Bello (San Joaquín), los bloques #1010 se encuentran alineados de forma paralela con Av. Departamental. El patrón de agrupamiento está formado por 4 bloques separados entre sí, los que crean un sistema continuo entre espacios verdes junto a cada bloque y la avenida parque, y los sectores de estacionamientos, (Figura 4).

El NDVI destaca de forma clara la diferencia entre las zonas carentes de vegetación (píxeles color rojo) y las zonas cubiertas por ésta (píxeles verdes). Sobre estas últimas, su máximo valor se ubica en la avenida Parque Departamental (0.47) y continúan hasta los espacios verdes, entre los patrones de cuatro bloques (0,31 lo más bajo). Al igual

**Figura 5**  
*Mapas de temperatura superficial en Villa José Joaquín Bello (San Joaquín)*



**Nota:** A: Índice LST aplicando un filtro de 70% de transparencia sobre imagen satelitall.  
B: LST indicando las temperaturas y las calles. **Fuente:** Elaboración propia.

que en el caso anterior, es posible observar cómo el proyecto urbano promueve una relación de continuidad entre espacios verdes privados (junto a cada bloque) y los espacios verdes públicos de la avenida Parque Departamental. Todo el verdor que indican los píxeles verdes, de oriente a poniente, contrasta con su ausencia fuera de los límites de este conjunto hacia el norte y sur.

Coincidentemente con la concentración de los mayores índices de vegetación, la temperatura de la superficie de la tierra disminuye tanto en el sector público (la avenida parque de Departamental), como dentro del sector privado (el patio formado entre el patrón de 4 bloques). Además, dentro de los límites de la villa, la menor temperatura es de 26,7°C, según se indica en el área de píxeles de azul intenso, y la mayor es de 28,8°C. Fuera del límite del conjunto la temperatura sube a 30,6°C como indican los píxeles en amarillo.

Para este conjunto, se repite lo evidenciado en el caso anterior, donde se establece una relación inversa significativa ( $p$ -value <0.05) entre el NDVI y LST. En este caso, el coeficiente de correlación de Pearson es de -0.48, (Figura 5).

**Figura 6**  
*Vegetación en Villa Atilio Mendoza (Lo Espejo).*

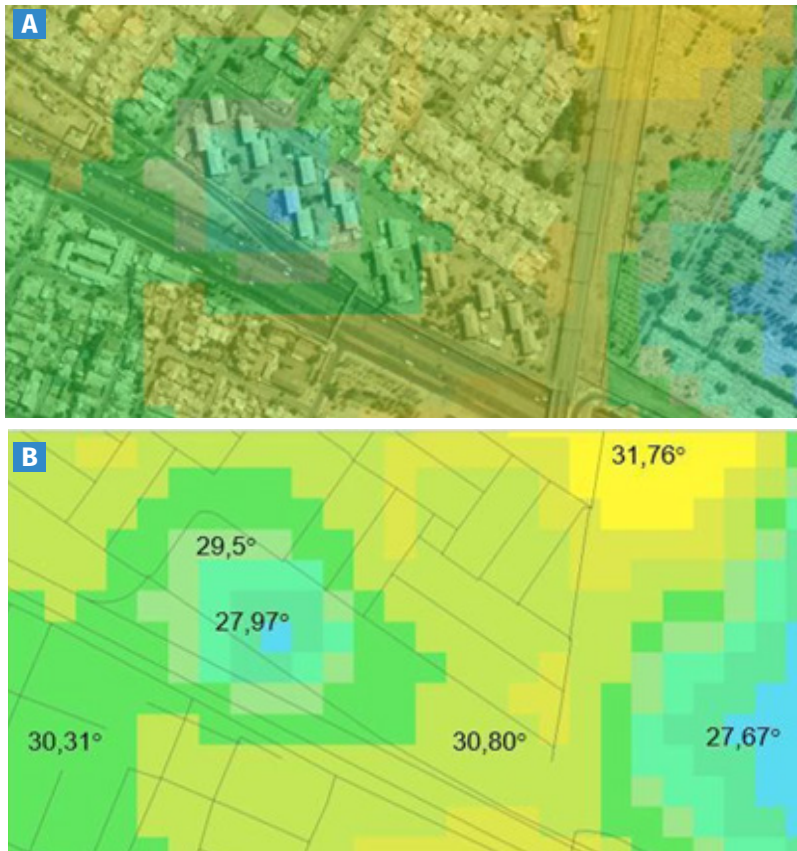


**Nota:** A: Villa Atilio Mendoza, ubicada en la intersección de Av. Américo Vespucio Sur y calle Del Ferrocarril. B: NDVI a escala 1:2500. **Fuente:** Elaboración propia.

El tercer caso de estudio, Villa Atilio Mendoza (Lo Espejo), a diferencia de los otros, posee casi nula vegetación. La macromanzana se encuentra ocupada mayoritariamente por estacionamientos sobre suelo de tierra. De los 30.599 m<sup>2</sup> de terreno, cuenta con un 76,5% de suelo permeable, es decir, un poco más de dos tercios. Sin embargo, la poca vegetación existente se encuentra de forma aislada, con árboles de mediana altura y arbustos junto a los accesos, (Figura 6).

Pese a la ausencia de vegetación, la temperatura superficial no es significativamente más elevada que en los otros casos, presumiblemente porque los suelos libres poseen menor temperatura que las superficies reflectantes de hormigón, como calles o estacionamientos. La variación de temperaturas dentro y fuera del conjunto varía en 3,8°C. Estos resultados se condicen con el análisis estadístico aplicado a la villa, donde la correlación no es de impacto

**Figura 7**  
*Mapas de temperatura superficial en Villa Atilio Mendoza (Lo Espejo)*



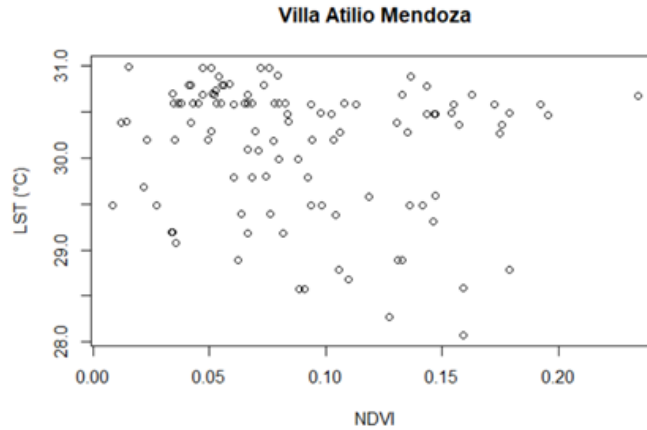
**Nota:** A: Índice LST aplicando un filtro de 70% de transparencia sobre imagen satelital Imagen satelital.  
B: LST indicando las temperaturas y las calles. **Fuente:** Elaboración propia.



( $p$ -value = 0.117), por lo que las temperaturas presentadas en este lugar no se relacionan con la vegetación que se encuentra en la zona, mostrando un gráfico sin pendiente definida y con información dispersa, (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Correlación entre la temperatura superficial en grados Celsius y el NDVI dentro de Villa Atilio.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

La evidencia presentada confirma que la vegetación en estos conjuntos habitacionales permite una disminución de la temperatura superficial de la tierra, confirmando lo señalado por Pérez Jara y De la Barrera (2021), quienes demuestran el rol de la vegetación en el control del microclima urbano. Sin embargo, en el caso de Villa Atilio Mendoza, pese a la poca o nula vegetación, la temperatura superficial no aumenta considerablemente en comparación con los otros casos estudiados y, al igual que los anteriores, representa un núcleo de menores temperaturas en comparación a su entorno, (Figura 7).

Este fenómeno puede deberse a que el suelo de tierra desnudo, favorece una menor absorción de energía durante el día, concentrando menores temperaturas en comparación con suelos recubiertos por pavimento u hormigón (Heaviside *et al.*, 2017). Desde esta perspectiva, es importante destacar el rol fundamental de los materiales ubicados sobre la cobertura del suelo que generan un balance de energía que surge en la superficie de la ciudad, permitiendo una menor acumulación de calor durante el día y reduciendo, así, el efecto de isla de calor.

Sin embargo, este no es el único factor que incide en el microclima del lugar, ya que –como se aprecia en el caso de Villa México–, la vegetación continua dentro de la configuración urbana es fundamental para reducir las temperaturas. De este modo, si bien esta villa cuenta con un amplio porcentaje de superficie impermeable en comparación con los otros casos estudiados, también destaca por poseer las menores temperaturas superficiales. Este punto coincide con múltiples estudios relacionados con la vegetación urbana y sus servicios ecosistémicos, donde se ha identificado que las áreas verdes continuas y conectadas promueven mejores servicios ecosistémicos que espacios verdes fragmentados (Hyun Woo *et al.*, 2017).

Lo mismo se repite al analizar el caso de la Villa José Joaquín Bello. Allí, se aprecia la importancia del bandejón central para otorgar continuidad a los espacios verdes de los conjuntos presentes en ambos costados, siendo esta zona la que concentra las menores temperaturas. Lo anterior genera un núcleo frío en un área compartida por los espacios verdes de los conjuntos habitacionales y en el bandejón central de avenida Departamental, revelando una posible sinergia entre los servicios ecosistémicos brindados por estos parches de vegetación públicos y privados. Sin embargo, la presencia de la avenida entre parches podría afectar en algunos servicios ecosistémicos que dependen, en gran medida, de la continuidad, como es la mantención de biodiversidad de artrópodos (McKinney, 2008). En este sentido, la avenida Departamental representa una barrera física que dificulta el desplazamiento de estos entre los parches de vegetación.

Según lo anterior, se espera que Villa México posea una mejor provisión de este servicio de soporte, ya que, al no poseer calles hormigonadas entre los espacios verdes que rodean los edificios, posibilita el tránsito de artrópodos y otros animales. A su vez, se espera que la vegetación densa de esta villa brinde una mejor absorción de gases contaminantes y partículas en suspensión, considerando que la vegetación posee un rol mucho más significativo que el suelo para retener los contaminantes que afectan la salud de las personas (Kaye *et al.*, 2006).

Por último, según la bibliografía, la vegetación urbana permite una reducción del riesgo de inundaciones, gracias a la disminución de la escorrentía superficial de las precipitaciones, algo que no logra realizarse por coberturas de suelo desnudo, donde el agua no logra ser retenida, aumentando la escorrentía (Kaye *et al.*, 2006). Del mismo modo, se espera que vegetación concentrada y conectada –como la presente, en Villa México– favorezca de mejor manera la provisión de servicios ecosistémicos culturales, ya que propicia la conexión de la población con los entornos naturales que fortalecen la conexión entre la población y la naturaleza (Fuller y Irvine, 2010).

## CONCLUSIÓN

Al comparar los tres casos de estudio es posible concluir que, independiente de su ubicación entre comunas, la presencia de vegetación influye en servicios ecosistémicos relacionados con la regulación de la temperatura superficial del suelo. Los amplios porcentajes de suelo que no han sido sellados posibilitan la presencia de cubierta vegetal arbórea, arbustiva y herbácea, además de otros servicios ecosistémicos según la bibliografía.

Urbanamente, los diferentes índices de vegetación de estos conjuntos apuntan a la existencia de una subordinación espacial del proyecto arquitectónico dentro de la trama vial, cuya vegetación acompaña también las infraestructuras como avenidas, calles interiores, bandejones centrales y los equipamientos. Esto significa que no solo los conjuntos pueden albergar numerosa vegetación, sino también las vías exteriores y sus bandejones de césped y árboles. Con todo, se aprecia cómo se forma una sinergia entre los espacios verdes privados y públicos.

Es importante destacar que, si bien no se demuestra a través de una composición del suelo, sí es posible advertir la relación entre la vegetación densa que muestran los casos en Cerrillos y San Joaquín, con la preexistencia de las antiguas chacras agrícolas antes de convertirse en conjuntos habitacionales. Demostrar empíricamente lo anterior representa un tema relevante, que abre caminos de investigaciones futuras.

En definitiva, esta investigación demuestra que los conjuntos habitacionales de bloques 1010 poseen extensas áreas que pueden recibir un arbolado denso, de gran tamaño y continuo, aprovechando, además, los espacios abiertos de los bandejones de tierra disponibles de forma adyacente. Esto demuestra cómo el proyecto urbano y los conjuntos habitacionales que contienen, poseen condiciones morfológicas que los convierten en espacios óptimos para forestar importantes áreas urbanas en distintas escalas, de forma continua, particularmente en sectores de Santiago en que la vegetación escasea.

Producto de una distribución en el territorio propia de la arquitectura moderna, son promovidos una serie de beneficios para la calidad de vida de los habitantes obtenidos desde los ecosistemas. Estos paisajes, además de sus reconocidos valores culturales, poseen una serie de atributos medioambientales que precisan ser identificados, y analizados, ya que, de muchas formas, impactan en una mejora de la calidad de vida de sus habitantes que merece ser preservada.

Por último, esta investigación invita a avanzar sobre comprender el potencial medioambiental del proyecto urbano moderno, especialmente de sus conjuntos habitacionales. Lo anterior, podría no solo constituir nuevas fuentes de conocimiento que amplíen su significado, sino que también podría impulsar nuevas capas de valoración social relacionados con el medioambiente, abriendo caminos para orientar su preservación a gran escala.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atisba. Estudios & Proyectos Urbanos. (2011). *La Brecha Verde: Distribución espacial de las áreas verdes en el Gran Santiago*. <https://docplayer.es/62497238-La-brecha-verde-distribucion-espacial-de-las-areas-verdes-en-el-gran-santiago-estudios-proyectos-urbanos-junio-2011.html>
- Centro de Información de Recursos Naturales. (1996). *Estudio agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, materiales y símbolos*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/55234>
- Chuvieco E., D. M. (1999). Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, 17-34.
- Costas, M., y Torrent, H. (2018). Patrimonio Moderno y Proyecto Urbano: Los Colectivos 1010/1020 y los desafíos de su conservación. *Arteoficio*, 14, 12-17.
- De Groot, R., Alkemade R., Braat, L., Hein, L., y Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 3(7), 260-272.
- Deeb, M., Groffman, P. M., Blouin, M., Egendorf, S. P., Vergnes, A., Vasenev, V., Cao, D. L., Walsh, D., Morin, T., and Séré, G.: Using constructed soils for green infrastructure – challenges and limitations, *SOIL*, 6, 413–434, <https://doi.org/10.5194/soil-6-413-2020>, 2020.
- Díaz, J., & Curiel, A. (2012). *ENFRIAR las ciudades*, 36–41.
- Elmqvist, T., H. Setälä, S.N. Handel, S. van der Ploeg, J. Aronson, J.N. Blignaut, E. Gómez Baggethun, D.J. Nowak, J. Kronenberg y R. de Groot. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14: 101-108.
- Fan C, Myint SW, Zheng B. (2015). Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. p.199-219.
- Fisher, B., Turner, K., y Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services. *Ecological Economist*, 68, 643-653.
- Fuller, R., & Irvine, K. (2010). Interactions between people and nature in urban environments. *Urban Ecology (Ecological Reviews)*, 134-171.
- Garzón, B., Brañes, N., y Auad, A. (2004). Vegetación urbana y Hábitat popular. El caso de San Miguel de Tucumán. *INVI*, 18(49), 21-42.
- Heaviside, Clare, Macintyre, Helen, Vardoulakis, Sotiris (2017). The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. *Current Environmental Health Reports*. p. 296-305

- Hobbs, K. (2020). *La historia de los árboles*. Blume.
- Hyun Woo, K. (2017). Exploring the impact of green space health on runoff reduction using NDVI. *Urban Forestry and Urban Greening*, 81-87.
- Kaye, J., Groffman, P., Grimm, N., Baker, L., y Pouyat, R. (2006). A distinct urban biogeochemistry? *Trends in ecology and evolution*, 192-199.
- Martín-López, B., y Montes, C. (s.f.). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. *Urbadai*, 1-20.
- McKinney, M. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11, 161-176.
- Montaner, J. M. (2008). *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*. Gustavo Gili.
- Maruani, Tseira & Amit-Cohen, Irit. (2007). Open Space Planning Models: A Review of Approaches and Methods. *Landscape and Urban Planning*. 81.
- Laforteza, R., J. Chen. C. Konjinendijk van den Bosch y T. B. Randrup. (2018). Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research*, 165, 431-441
- Pérez Jara, J., y De la Barrera, F. (2021). Rol de la vegetación en el control del microclima urbano y la adaptación a los efectos del cambio climático en un barrio de San Pedro de la Paz, Chile. *URBE Arquitectura, Ciudad y Territorio*, 36-53.
- Perry, C. (1929). Neighborhood unit. *New York Regional Survey and its Environs*, Vol 7, 25-47.
- Pfeiffer, M., J. Perez-Quezada y M. González (2019). *Capítulo 5: Suelos*. p. 274-317. En: *Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile 2018*. Universidad de Chile.
- Phiri, D. M. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sens. Remote Sensing*, 1-35.
- Reyes, S. (2019). Resumen Divulgación Fondecyt 1161709. *Ecosystem services approach for urban planning and management*. Santiago.
- Sato, A. (3 de junio de 2002). La Tercera online. La arquitectura moderna y la peste. <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/la-arquitectura-moderna-y-la-peste/>
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2011). *Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. Geneva.
- Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kaźmierczak A., Niemela J., y James P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 3(81), 167-178.

- Stehberg, R., y Sotomayor, G. (2012). *Mapocho Incaico. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 61, 85-149.
- Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 63-86.
- Bustos, M (Coord). (2014). *Vivienda Social en Copropiedad*. Secretaría Ejecutiva Desarrollo de Barrios del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Yang J.L. y G.L. Zhang. (2015). Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 30–46.
- Wang, J., Endreny, T., y Nowak, D. (2008): Mechanistic Simulation of Tree Effects in an Urban Water Balance Model 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 44(1), 75–85.
- Yanes, J. (06 de octubre de 2020). *Open Mind BBVA*. <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/plantar-arboles-una-estrategia-controvertida-contra-el-cambio-climatico/>