

LA INFLUENCIA DEL ARBOLADO EN EL PAISAJE Y MICROCLIMA URBANO DE LA CIUDAD DE JUAN LACAZE

URU/18/002 Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructura
y ordenamiento territorial en Uruguay

INFORME FINAL
DICIEMBRE 2020



Ministerio
de Vivienda y
Ordenamiento Territorial



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDLAR

Universidad de la República
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Municipio Juan Lacaze, Departamento de Colonia

Equipo de coordinación
Norma Piazza / FADU Arq y LDP
Alicia Picción / FADU Arq y LDP

Equipo docente
Sofía Alvaríño / FAGRO-CURE-LDP
Pascual Ceriani / FADU CENUR LDI
Juan Ferrer / FADU CENUR LDI
Lucía Gutiérrez / FADU Arq
Victoria López / FADU Arq
Norma Piazza / FADU Arq y LDP
Alicia Picción / FADU Arq y LDP

Estudiantes curso opcional FADU
La influencia del arbolado en el paisaje y microclima urbano, caso Juan Lacaze
Alejandra Alvira
Erika Barranco
Belén Barreiro
Matías Bermúdez
Enzo Borgarello
Rodrigo Cabrera
Pierina Castro
Mikaela Da Luz
Natalia Del Rey
Valeria González
Agustina Guillade
Evelyn Lombardo
Malena Millán
Oscar Molina
Andrea Neris
Eugenia Nova
Jorge Pérez
Yuliana Simmari
Fiorella Sosa



Ministerio
de Vivienda y
Ordenamiento Territorial



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR

1. INTRODUCCIÓN	4
Alcance y marco teórico	
1.1.1. Paisaje urbano	
1.1.2. Microclima y confort	
1.1.3. La importancia del arbolado urbano (AU) y sus funciones	
2. OBJETIVOS	9
3. RESUMEN DE ACTIVIDADES	10
4. METODOLOGÍA DE RELEVAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE DATOS	12
5. TAREA DE CAMPO Y PROCESAMIENTO DE DATOS	15
6. RESULTADOS	18
6.1. Resultados generales	
6.2. Resultados zona 01	
6.3. Resultados zona 02	
6.4. Análisis microclimático	
6.5. Análisis a partir de la aplicación I-TREE	
7. DIAGNÓSTICO	39
8. LINEAMIENTOS Y RECOMENDACIONES GENERALES	41
9. ANEXO. INFORME I-TREE ECO	43
BIBLIOGRAFÍA	52

1. Introducción

1.1. Alcance y marco teórico

Este informe se refiere al arbolado urbano de la ciudad de Juan Lacaze, específicamente al arbolado de alineación de calles.

La actividad surge del acuerdo de trabajo de referencia para dar respuesta a la preocupación de la Alcaldía de Juan Lacaze por la situación del arbolado público y las posibilidades de incidencia del mismo en las capacidades locales, en el marco de la adaptación al cambio y variabilidad climática.

Durante los días 2 y 3 de octubre de 2020, docentes y estudiantes de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo y de otros servicios de la Udelar con la colaboración de vecinos de Juan Lacaze realizaron el relevamiento de gran parte del arbolado de calle de la ciudad y estudios de confort y microclima. Como resultado de estas jornadas se trabajó en la elaboración de una base de datos desarrollando una cartografía en base a un Sistema de Información Geográfica (software QGIS) y una serie de trabajos que desarrollaron los distintos equipos de estudiantes aportando insumos al presente informe. A esto se agrega un análisis realizado en base a la aplicación I-TREE.

Importa aclarar que el trabajo realizado no constituye un inventario, sino un relevamiento que se propuso ser lo más abarcativo posible para posibilitar un diagnóstico general de la situación del arbolado público de alineación de calle y una serie de recomendaciones. No se realizaron relevamientos en otro tipo de espacios públicos (plazas, parques, plazoletas, riberas fluviales).

Este trabajo reconoce y valora al arbolado urbano como un componente calificador del espacio público definitorio de su paisaje, parte del patrimonio verde urbano, y dispositivo importante en las capacidades de adaptación de la ciudad al cambio climático. Por lo que se considera necesario conocerlo y evaluarlo para planificar y definir proyectos y acciones a largo, mediano y corto plazo.

De acuerdo con los resultados del relevamiento, se deduce que posiblemente esta preexistencia haya sido planificada y manejada con criterios diversos que responden a otros paradigmas y a situaciones coyunturales. En este marco, conocer sus características, su estado, sus condiciones de manejo y gestión son parte del interés de este trabajo.

Algunos aspectos que enmarcan el trabajo

1.1.1. Paisaje urbano

El paisaje urbano es producto de una serie de acciones antrópicas que se suceden a lo largo del tiempo modificando y transformando el paisaje original; se modifica permanentemente a través de la historia con el desarrollo de cada ciudad. El carácter de ese paisaje es la expresión de la estructura del hábitat de una ciudad y los modos de vida de sus habitantes. Ese carácter está definido por diversos componentes y la forma en que ellos se articulan y relacionan no es mensurable, ya que integra aspectos físicos y perceptivos. Entre sus componentes podemos señalar aspectos geomorfológicos y de morfología urbana, componentes de diversa naturaleza como edificaciones, espacios públicos, infraestructuras, equipamientos, flora, fauna, habitantes, actividades, eventos, materialidades, texturas y colores, entre otros.

Otra característica del paisaje es la multiescalaridad; a escala urbana el paisaje adquiere valores de identidad y patrimonialidad. El espacio público calle es parte caracterizadora del paisaje de las ciudades y de sus diferentes barrios, adquiere múltiples significados dependiendo de la cultura del lugar, siendo espacio de movilidad y de socialización; su conformación física conjuntamente con los modos de uso conforman su carácter y los árboles son componente sustancial de las mismas. La existencia o no de arbolado, su estado, los ritmos y las espacialidades que generan definen la calidad del espacio público, colaboran en la sensación de bienestar y confort y estimulan o no el uso de los mismos.



Figura 01 - Ejemplos de arbolado de alineación de calle. Fuente: elaboración propia

1.1.2. Microclima y confort

La ciudad conforma un ambiente con características particulares debido a los diferentes procesos de desarrollo socioculturales, políticos, económicos, de urbanización, que en ella se integran. Los procesos de urbanización modifican el comportamiento de las variables ambientales relacionadas a microclima [radiación solar, temperatura del aire y superficiales, humedad relativa, viento, luz, sonido] y procesos como los hidrológicos entre otros. Es así que los microclimas urbanos se pueden explicar a partir de las modificaciones en los balances energéticos e hídricos que se generan en las ciudades respecto al clima local. La forma, magnitud e intensidad de estas modificaciones varían en el tiempo y en el espacio y dependen de las características climáticas del lugar y de las propias de la ciudad como son su forma y tamaño, la prevalencia de superficies impermeables, las propiedades de sus materiales frente a la radiación (inercia, albedo, emisividad), el calor generado por la actividad humana (antropogénico). Todos ellos se interrelacionan y por tanto cada uno por separado no explica el clima urbano y sus posibles microclimas.

El clima urbano y sus microclimas condicionan la habitabilidad y calidad de vida de los habitantes. Para explicarlos se distinguen principalmente dos escalas de interacciones:

- la capa de dosel urbano (UCL) que va desde el nivel de calle hasta aproximadamente el promedio de las alturas de las edificaciones - microescala - donde los intercambios están fuertemente condicionados por las características específicas del sitio
- la capa de contorno urbano (UBL) que comienza sobre los edificios y se extiende hasta 1000-1500 m por encima durante el día y entre 50 y 80 m durante la noche -mesoescala- donde las condiciones climáticas se ven afectadas por la superficie urbana en su conjunto.

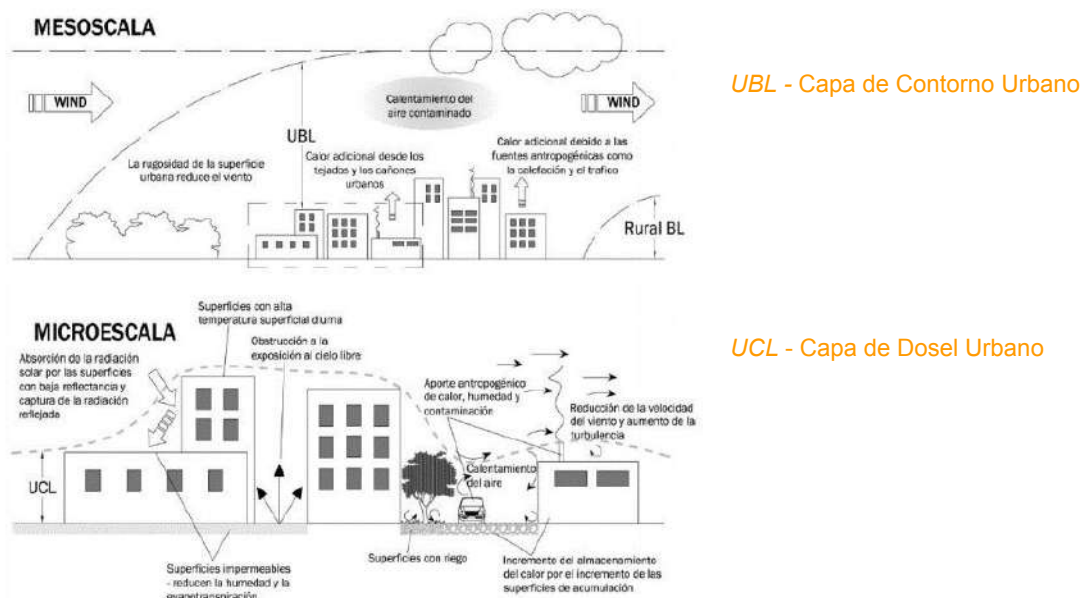


Figura 02 - Capas de análisis para climas urbanos. Fuente: Taheri Shahraini et al., 2016.

Los climas urbanos forman parte de diversos mosaicos de paisaje, que representan la concepción de la relación sociedad / naturaleza en cada momento histórico. También se relacionan espacial y temporalmente con los procesos y características socioeconómicas de sus barrios, por lo que se trata de un problema socioambiental.

Ante los cambios ambientales, incluido el cambio climático, que estamos viviendo a escala planetaria pero también local, es necesario discutir el concepto de confort y cómo se aborda en tanto supone el uso de recursos y de estrategias para lograrlo. El confort, entendido como la percepción de bienestar o comodidad, no es solo lo que facilita la vida de las personas sino, y muy especialmente, lo que reconforta, como puede ser la conversación casual en el barrio o el camino al trabajo a la sombra de un árbol en un día caluroso. Esa percepción y consecuentemente el uso de los espacios abiertos están muy influenciados por las condiciones microclimáticas (temperatura del aire, humedad, velocidad del viento, flujos de radiación), por aspectos personales como la edad, actividad, vestimenta y por componentes psicológicos y socioculturales muy fuertes. En otras palabras se refiere a aquellas cualidades del entorno urbano y de su paisaje que satisfacen los deseos humanos en el tiempo y el espacio.

En los espacios públicos al aire libre (calles, plazas, parques) de las ciudades se realizan múltiples actividades humanas. Esto hace cada vez más necesaria su evaluación y planificación para que las actividades sociales puedan desarrollarse en condiciones de confort durante la mayor parte del año. "El ser humano, realiza sus actividades en ambientes rodeados de estímulos: higrotérmicos, acústicos, lumínicos u olfativos". "Estos estímulos provocan reacciones placenteras o molestas en el organismo, de tal modo que podremos calificar el ambiente o al factor ambiental del que se recibe el estímulo como confortable o no confortable". (Neila, 2004).

1.1.3. La importancia del arbolado urbano (AU) y sus funciones

Los árboles ofrecen valiosos beneficios a las ciudades, desde mejoras en la salud de sus habitantes al purificar el aire hasta incrementos en el valor de sus propiedades.

Las funciones o servicios del AU refieren a los servicios socio ecológicos del verde (ambientales, sociales y económicos). Se pueden clasificar primariamente en **aquellas que aportan a la adaptación al Cambio y Variabilidad Climática (CVC)** y las que **aportan a otros aspectos que también inciden en la calidad de vida urbana** (culturales, identitarios, estéticos, alimentarios, de fomento de la biodiversidad, etc).

Entre los aportes específicos a la adaptación al CVC se encuentran los siguientes:

Regulación de temperaturas

La sombra producida por árboles es uno de los efectos relacionados con la radiación solar más evidentes, la reducción de la temperatura superficial en la ciudad en presencia de vegetación se debe al **efecto de sombra** combinado con el fenómeno de la **evapotranspiración**, efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas con una pequeña contribución por parte de la humedad del suelo. Cabe mencionar que la incidencia de un árbol aislado no es significativa en el aire, ya que los movimientos del aire logran que el efecto desaparezca.

Existen otros efectos, como la absorción, emisión y transmisión de radiación infrarroja. Del 100% de la energía solar incidente, las plantas absorben para la fotosíntesis aproximadamente el 5-20%, reflejan 5-20%, disipan por evapotranspiración 20-40%, emiten 10-15% y transmiten el 5-30% (Ochoa, 2010).

A la influencia del verde en el clima local algunos autores lo denominan como “efecto oasis”. Este efecto se produce por una combinación de distintos parámetros entre ellos la radiación directa, la radiación difusa y la reflexión respecto a la radiación que incide sobre las superficies.

Moderación del viento

El arbolado puede actuar como una barrera para el viento colaborando en la moderación de velocidades y en el control de los efectos de canalización en la ciudad así como reduciendo las filtraciones y las pérdidas de calor de las construcciones (FAO, 2017). Las acciones que los elementos vegetales pueden ejercer sobre el viento son:

Obstrucción (bloquea el flujo de aire en una zona).

Deflexión (desvía el viento y disminuye su velocidad).

Filtración (reduce la velocidad del viento al pasar por una barrera permeable).

Encauzamiento (cambia la dirección del viento, conduciéndole hacia una zona donde se requiera ventilación)

En ambientes urbanos, a niveles cercanos al suelo, la acción del viento está definida principalmente por la estructura urbana. La vegetación tiene un efecto menos perceptible que en zonas suburbanas. En grandes espacios abiertos los árboles agrupados tienen una gran influencia en la velocidad del viento, y pueden reducir la velocidad hasta un tercio, en comparación de la que habría en campo abierto. Las barreras protectoras y el grado de protección contra el viento depende de las dimensiones de la barrera (altura, anchura y

longitud), de la densidad y penetrabilidad del material que la constituye y finalmente de su forma.

Retención de agua de lluvia y control de escorrentías

Los árboles urbanos influyen en los procesos hidrológicos urbanos, tienen un rol importante en los escurrimientos interceptan y retienen o disminuyen el flujo de agua que llega al suelo. La inclinación y dirección de la lluvia determinan el nivel de funcionamiento del árbol como estructura de obstrucción.

Fitodepuración

Las raíces de los árboles y demás plantas constituyen un filtro físico, químico y biológico, utilizan en sus procesos metabólicos sustancias nocivas para el ambiente como nutrientes, impidiendo que lleguen a los mantos acuíferos o a los cuerpos de agua y los contaminen.

Secuestro y almacenaje de carbono

La capacidad de absorción de CO₂ de la vegetación es relevante en la mejora de la calidad del aire en los entornos urbanos y aportan a la mitigación de los efectos del CVC. Algunas especies absorben más CO₂ que otras (existe software para monitorizar la absorción de CO₂ en zonas verdes urbanas, la planificación de su mejora y la evolución de sus estrategias).

El almacenamiento y el secuestro de carbono son considerados como uno de los beneficios más importantes proporcionados por los árboles urbanos. A este beneficio se le suma su prestación fundamental: la liberación de oxígeno mediante el proceso fotosintético.

Captación de contaminantes

El arbolado urbano colabora en la mitigación del efecto perjudicial de la contaminación atmosférica mejorando la calidad del aire a través de distintos mecanismos, como la interceptación directa de partículas de polvo y de microorganismos por parte de las hojas. La capacidad de retención es variable entre diferentes especies. Este proceso se complementa con la producción, por parte de la superficie foliar, de ozono (O₃), gas de alto poder bactericida, lo que elimina gran parte de los microorganismos contenidos en el aire. Las plantas pueden absorber cierta cantidad de gases tóxicos disueltos en la atmósfera, esta acción puede o no provocar lesiones a la planta. Existen pocos estudios sobre este tema particular. A esta capacidad de los vegetales se le asocia la Fitorremediación, capacidad bioquímica de algunos tipos de plantas para absorber y sustraer sustancias contaminantes del medio ambiente (agua, suelos, aire) y recuperarlo.

Ahorro de energía

Los árboles inciden en la demanda energética de los edificios al proporcionar sombra, enfriamiento por evaporación y bloquear los vientos de invierno, dependiendo de su ubicación en relación al edificio.

Entre las funciones complementarias a las directamente vinculadas a CVC se encuentran:

Proporcionar un hábitat que posibilite el aumento de la biodiversidad urbana insertando la naturaleza en la ciudad.

Mejorar la capacidad de acogida de los espacios públicos, brindando confort y acondicionando esos espacios.

Aportar a la generación de un paisaje urbano de valor preservando y construyendo patrimonio y colaborando en la generación de identidad.

Según ONU-Hábitat “A lo largo de su vida, los árboles pueden proporcionar un paquete de beneficios que vale entre dos y tres veces más que la inversión realizada para plantarlos y cuidarlos”.

2. Objetivos

Los objetivos de los que parte el trabajo son:

Brindar a la alcaldía de Juan Lacaze una herramienta para la gestión del arbolado público urbano y colaborar en la creación de capacidades locales en el marco de la adaptación al cambio y variabilidad climática.

Articular, a partir de un caso, estrategias de enseñanza, investigación y extensión involucrando la comunidad académica de FADU con la comunidad de Juan Lacaze, incorporando en particular estudiantes de la carrera de Arquitectura, de la licenciatura de Diseño de Paisaje y de la Licenciatura en Diseño Integrado ciudad de Juan Lacaze

Promover el desarrollo de un proceso participativo que se apoye en el diálogo de saberes aportando a la generación de conocimiento local y científico, al conocimiento de los recursos locales en relación al arbolado urbano y sus posibles aportes en los procesos de adaptación al cambio climático.

3. Resumen de actividades

En el marco del acuerdo se realizan las siguientes actividades

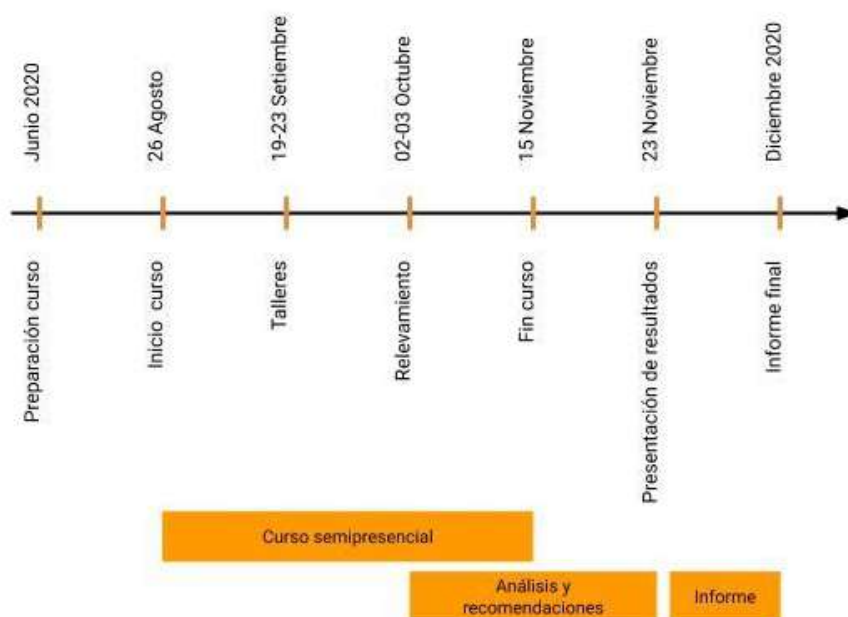


Figura 03 - Actividades realizadas. Fuente: elaboración propia

-Se diseña un curso semipresencial electivo para las carreras de FADU, como asignatura asociada a un proyecto de extensión a dictar por docentes de Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU). Participan docentes de Arquitectura, Licenciatura en Diseño integrado y Licenciatura en Diseño de Paisaje. En el marco del mismo están previstas actividades de taller en conjunto con actores locales como forma de intercambio de conocimientos y preparación de las actividades en campo.

El curso comienza el 26 de agosto de 2020 y finaliza con entrega de trabajos el 15 de noviembre participando 19 estudiantes. En el transcurso del mismo se realizan 2 talleres con actores y actrices locales los días 19 y 23 de septiembre. Se adjuntan presentaciones en Anexos.

- Se genera cartografía base, se define metodología de trabajo y se planifica la actividad de relevamiento, definiendo formato y contenidos.
- Se realizan las actividades de relevamiento y mediciones en campo (2 y 3 de octubre)
- Entre 4 de octubre y el 22 de noviembre: procesamiento análisis de datos, diagnóstico y recomendaciones.
- Se realiza presentación de resultados el 23 de noviembre (Taller de devolución a comunidad de Juan Lacaze).
- Elaboración de informe entre 24 de noviembre y 28 de diciembre.

Consideraciones previas

Interesa señalar en esta sección del informe algunos aspectos de diferente índole que condicionaron las actividades realizadas.

En primer lugar la decisión de la Udelar que en el marco de la epidemia de covid-19 y la declaración de emergencia sanitaria nacional, resuelve, entre otras consideraciones, extender el trabajo a distancia y reducir la movilidad en el territorio nacional todo lo posible con el propósito de contribuir al cuidado de la comunidad universitaria y la sociedad toda, en el cumplimiento de las responsabilidades asumidas. En ese contexto no se pudieron desarrollar todas las actividades presenciales inicialmente planificadas en territorio. Esto redundó en menos cantidad de visitas a Juan Lacaze que las previstas para el reconocimiento de la ciudad y su arbolado y la realización de reuniones con autoridades y vecinos con el objetivo de intercambiar sobre el propósito del trabajo y ajustar la metodología de relevamientos y la programación de actividades según las condicionantes que se presentaran.

Otro factor a considerar es que el plazo del acuerdo no permite realizar las encuestas y las mediciones de variables de microclima en la época de verano, más adecuado para la visualización del efecto del arbolado sobre zonas de la ciudad y el confort térmico de los peatones.

El estado del tiempo en los días de relevamiento no fue el más favorable, con mucho viento, temperaturas más bajas que las previstas y poco sol que redujeron las horas efectivas de relevamiento. En conjunto de esta situación previa surgen dos aspectos importantes. Por un lado, el conocimiento previo de la mutilación del arbolado hubiera quitado relevancia a la fecha de la actividad ya que en ese estado los árboles no pueden dar sombra a la ciudad, pero sí hubiera permitido ajustar las actividades del relevamiento pensado para un árbol que cuenta con sus componentes principales (raíz, fuste y copa).



Figura 04 - Estado general del arbolado. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la conformación de equipos de relevamiento tuvo que ser reorganizada durante el desarrollo de las dos jornadas de relevamiento, dado que la participación local, si bien comprometida, se resolvió sobre la marcha y por lo tanto sin entrenamiento previo.

4. Metodología de relevamiento y procesamiento de datos

Se relevan los árboles de alineación o sea el arbolado público que acompaña linealmente calles y avenidas urbanas y suburbanas.

El trabajo se realiza implementando dos tipos de equipos, uno que releva solo arbolado y otro que releva árboles y realiza mediciones. Al mismo tiempo en modalidad de encuesta se realiza una indagación exploratoria sobre la percepción y valoración de la población en relación al arbolado y al confort en el espacio público en el que se encuentran.

Durante cada jornada, los equipos se arman de acuerdo a la disponibilidad de actores locales y su conocimiento previo, lo que da como resultado que se conformen básicamente de la siguiente manera:

Equipos de solo relevamiento de árboles 2 estudiantes y 1 actor local

Equipos de relevamiento de árboles, encuestas y mediciones: 2 a 3 estudiantes y 1 actor local

El material con que cuentan los equipos relevadores consta de un instructivo, planos de las manzanas a relevar, tablas de registro, instrumentos de medición y registro fotográfico.

A cada equipo se le asigna un grupo de manzanas del área urbana de la ciudad. La propuesta es cubrir la mayor cantidad de manzanas de la ciudad posible en los dos días definidos enfocando particularmente en tres sectores. En las zonas denominadas 01 y 02 el relevamiento se acompaña de encuestas y mediciones.



Figura 05 - Plano de Juan Lacaze con la identificación de las zonas 01 y 02 de relevamiento, mediciones y encuestas.
Fuente: elaboración propia.

Cada manzana está identificada con un código y el nombre de las calles que la rodean. Su recorrido y relevamiento se realiza en sentido horario, mientras se ubican e identifican los árboles que se encuentran en el espacio público calle. Para cada árbol identificado se realiza el

registro fotográfico, que incluye al entorno que lo rodea y la observación con toma de datos. El registro de los datos se realiza en una planilla y en el plano de la manzana correspondiente.

UBICACIÓN EJEMPLAR

COORDENADA: DATO A COMPLETAR POSTERIOR A SALIDA DE CAMPO
N° MANZANA: INFORMACIÓN SUMINISTRADA
N° DE PUERTA: TOMAR NOTA NÚMERO DE PUERTA MÁS CERCANO AL ÁRBOL RELEVADO

RELEVAMIENTO DE ARBOLADO JUAN LACAZE							
FECHA	N° DE FICHA	CÓDIGO CENISTA					
ID ÁRBOL	COORDENADA	MANZANA (CATASTRO)	N° DE PUERTA	ESPECIE	CAP (CIRCUNFERENCIA A LA ALTURA DE PECHO - 1.30m)	ALTURA	OBSERVACIONES
001							
002							
003							
004							
005							
006							
007							
008							
009							
010							
011							
012							

Figura 06 - Ejemplo de planillas de relevamiento. Fuente: elaboración propia.

Previo a la salida de campo se establecen los datos base a relevar para cada ejemplar arbóreo. Los mismos se relacionan con los objetivos planteados para el relevamiento del arbolado de la ciudad, a la vez que se toma en consideración datos que aportan para cuantificar las mediciones en campo en el software itree eco. En campo se incorpora al relevamiento la presencia o no de copa de los ejemplares como dato relevante para el diagnóstico del arbolado existente.

Dada la magnitud de la tarea y el tiempo disponible se priorizan algunos parámetros y aspectos a relevar:

- En relación al arbolado son:

. Localización y emplazamiento: cada árbol se identifica con un número correlativo y se anota el número de puerta del predio que enfrenta.

. Datos observables: especie, estado sanitario y conservación, condiciones de superficie de suelo (cobertura de la vereda), alcorque, situación de las raíces, tipo de interferencias.

. Parámetros medibles: circunferencia a la altura de pecho (CAP), altura de tronco hasta copa, altura total, distancia a la fachada o límite de predio.

En observaciones se identifican aspectos particulares que interesen vinculados a su estado sanitario y de manejo o de su relación con otros equipamientos o infraestructuras, si levanta vereda u otros detalles, material de vereda o cobertura de suelo.

- Realización de encuestas:

Se realiza una encuesta diseñada para aplicar por relevadores no expertos y de corta duración, que se estructura en base a preguntas sobre variables demográficas, vestimenta, actividad física, la sensación de confort actual, preferencias y actitudes relacionadas con el sitio y el arbolado.

- En relación a las mediciones de condiciones microclimáticas, los parámetros son:

. Temperatura, humedad y velocidad del aire que se registran con estación meteorológica.

. Temperatura de las superficies (fachada, vereda y calle) a la sombra o al sol, se registran con termómetro infrarrojo laser.

Las mediciones se realizan en simultáneo a la encuesta, en el entorno próximo a la ubicación de la persona encuestada y se anotan los registros en planilla.

5. Tarea de campo y procesamiento de datos

La actividad de relevamiento se realiza los días 2 y 3 de octubre de 2020; la llevan a cabo estudiantes y docentes de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (carreras de Arquitectura, Licenciatura en Diseño Integrado y Licenciatura en Diseño de Paisaje) con participación de vecinos de Juan Lacaze.

El relevamiento georeferenciado del arbolado público de la ciudad abarca 67 manzanas de un total de 141; todos los datos relevados integran una base de datos que es parte fundamental del resultado de este trabajo.

Las restantes manzanas se relevaron a partir de una recorrida general de reconocimiento (incluyendo Villa Pancha) que incluyó el relevamiento fotográfico para verificar similitudes y divergencias.



Figura 07 - Total de manzanas relevadas y zonas específicas de abordaje. Fuente: elaboración propia.

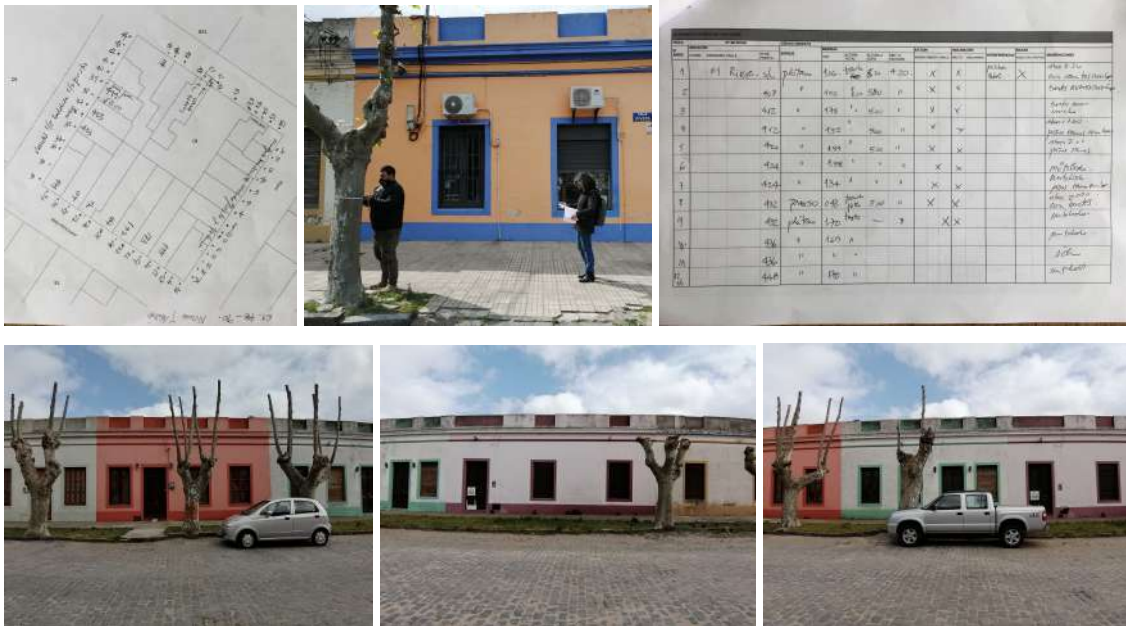


Figura 08 - Actividad de relevamiento. Fuente: elaboración propia.

Además del relevamiento general realizado, en la ZONA 01 Y ZONA 02 (Figura 06) se abordó el registro de mediciones del estado del tiempo, temperaturas superficiales de diferentes materiales y encuestas a peatones respecto a su sensación de confort térmico en ese momento, para la caracterización del microclima urbano y percepción de los habitantes de la localidad.



Figura 09 - Actividad de mediciones y encuestas. Fuente: elaboración propia.



Figura 10 - Características del cañón urbano y estado del arbolado. Fuente: elaboración propia.

6. Resultados

6.1 Resultados generales



Figura 11 - Plano con el mapeo de árboles y arbustos de porte arbóreo por especie. Fuente: elaboración propia.

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Udelar

De las 67 manzanas el total de árboles y arbustos de porte arbóreo relevados es de 2837. Se mapean en el sistema de información geográfica para identificarlos por su ubicación con datos de especie y estado.

[illegible]

Figura 12 - Imagen de planilla de base de datos (Anexo). Fuente: elaboración propia.

Del total de árboles relevados, se identifica como especie con mayor predominancia al Paraíso, en torno al 66% del total de la población, seguido por Plátanos 12%, Anacahuita 6% y en menor medida las demás especies (Figura 12).

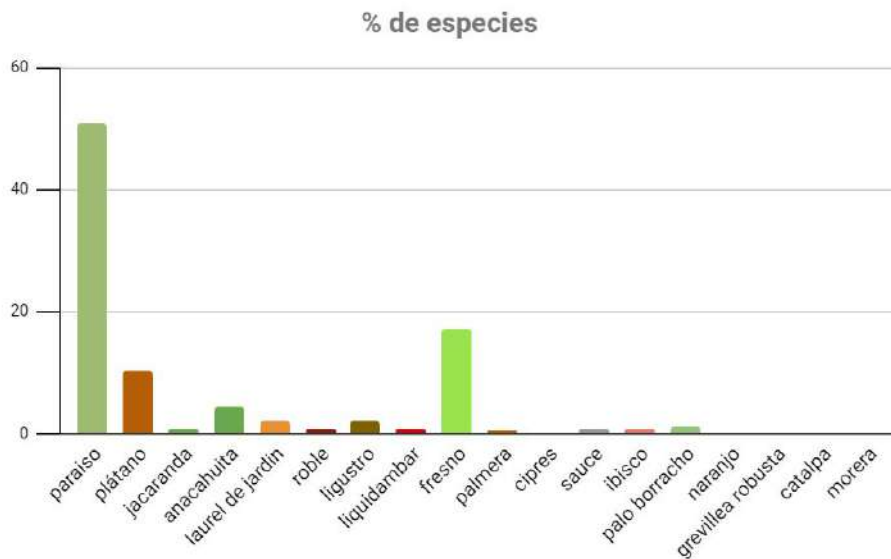


Figura 13. Distribución en porcentaje de especies de árboles del total relevado. Fuente: elaboración propia.

Se observa una gran relevancia de los ejemplares arbóreos -50%- que presentan una poda con remoción total de la cobertura foliar, mutilación o no presencia de copa (*Figura 14*). Esta condición predomina en especies tales como paraísos y plátanos. La distribución espacial en relación al estado de la copa se muestra en la *Figura 15*.

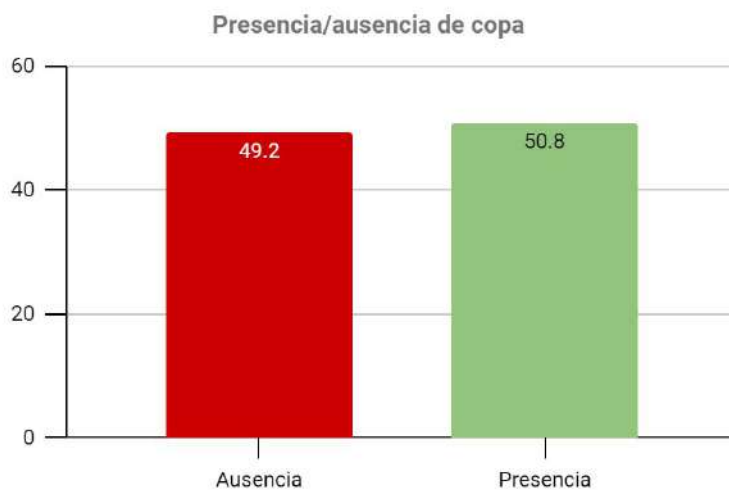


Figura 14 - Estado de la copa en porcentaje del total de árboles relevados. Fuente: elaboración propia.



Figura 15 - Plano de mapeo de presencia de copa en arbolado relevado. Fuente: elaboración propia.

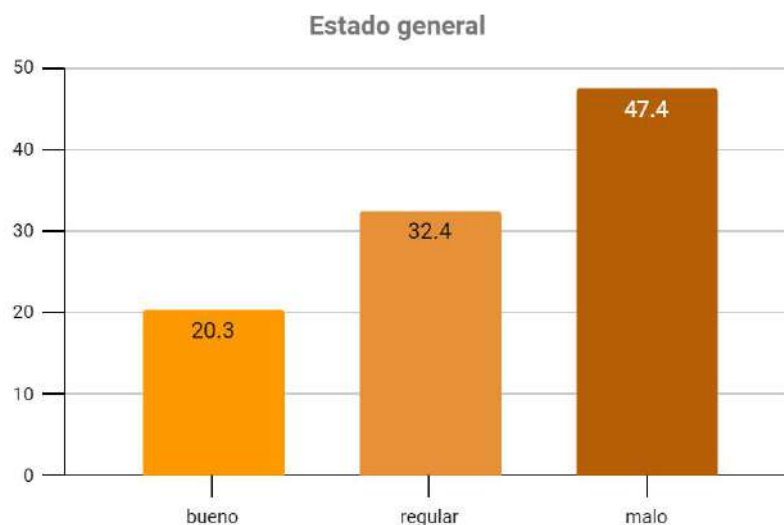


Figura 16 - Estado general del arbolado relevado. Fuente: elaboración propia.



Figura 17 - Imágenes representativas de árboles en estado: malo (ahuecado, con canchros), regular (con epífitas, canchros, sin copa), bueno (buen desarrollo, presencia de copa). Fuente: elaboración propia.

El alto porcentaje de árboles con copa mutilada repercute en el estado general de los árboles ya que la mayoría se encuentran en una condición regular y mala (*Figuras 16 y 17*). En la *Figura 20* se puede observar que la importante mutilación de los árboles ha repercutido en el crecimiento de las raíces y su exposición, sumado al diseño del alcorque que en su mayoría no es el adecuado (*Fig. 18*).

Alcorques

Otro aspecto importante de analizar tiene que ver con el espacio natural que el árbol tiene a su alrededor en un entorno pavimentado, que le permite absorber agua, oxígeno y nutrientes y el desarrollo de raíces y del tronco.



Figura 18 - Ejemplos de alcorque inadecuado. Fuente: elaboración propia.

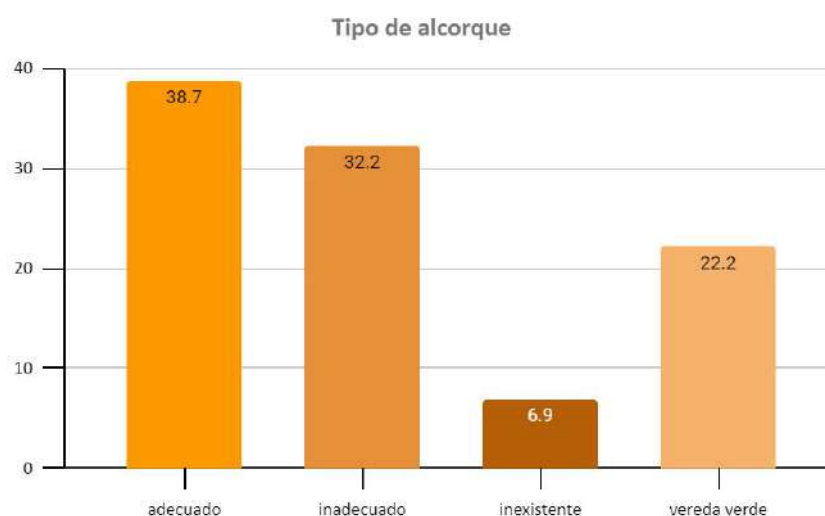


Figura 19 - Tipo de alcorque. Fuente: elaboración propia.



Figura 20 - Ejemplos de estado de raíces y porcentajes de raíces ocultas y vistas. Fuente: elaboración propia.

6.2. Resultados zona 01

Se identificaron 13 especies en la zona de estudio (Z01), las cuales se distribuyen espacialmente de acuerdo a la *Figura 21*, observándose una predominancia significativa de Paraísos representando un 60% de la muestra, seguido por Fresnos y Plátanos con un 4% y en menor medida las demás especies (*Figura 22*).

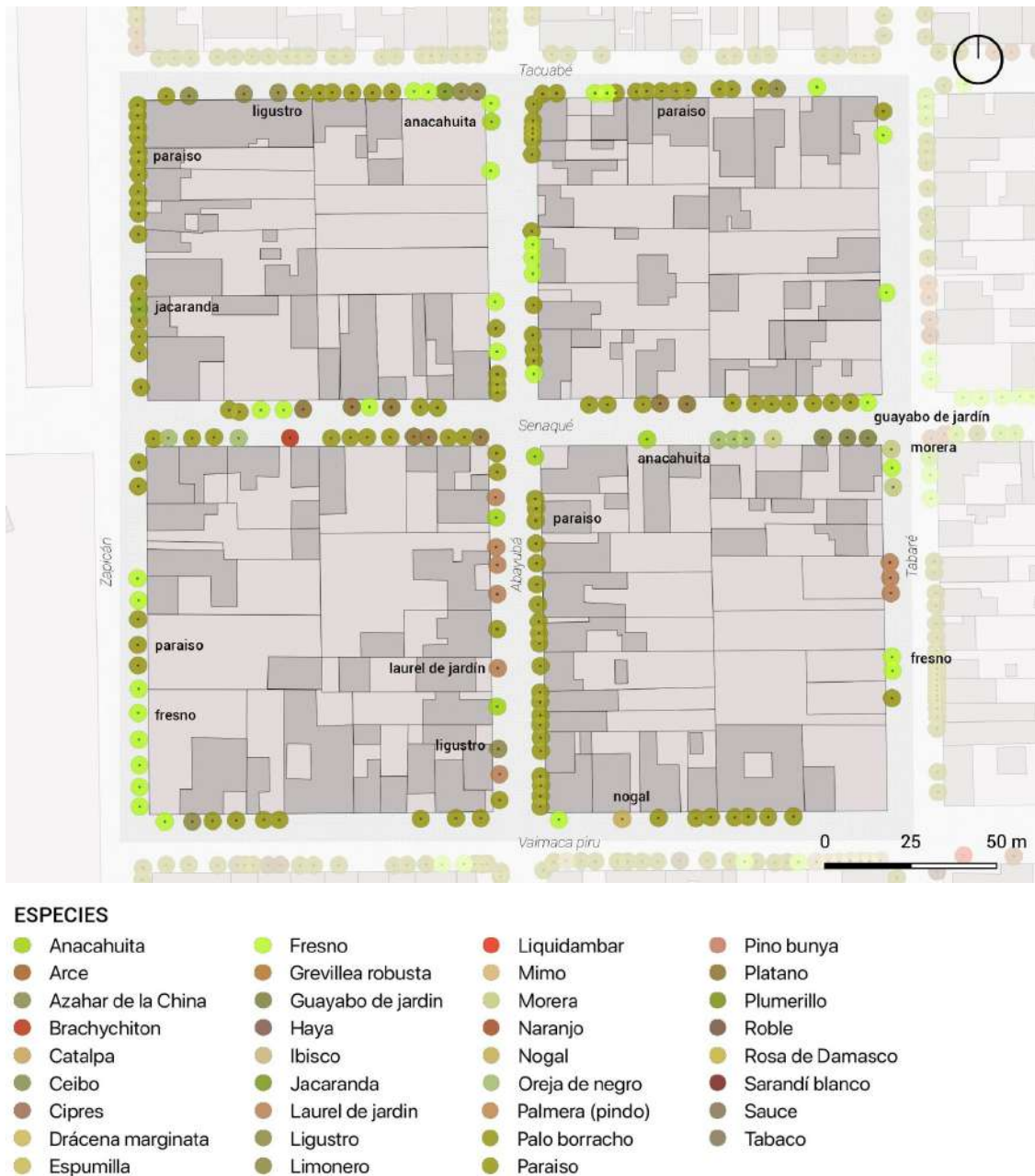


Figura 21 - Plano de mapeo con distribución espacial de especies de árboles en la ZONA 01. Fuente: elaboración propia.

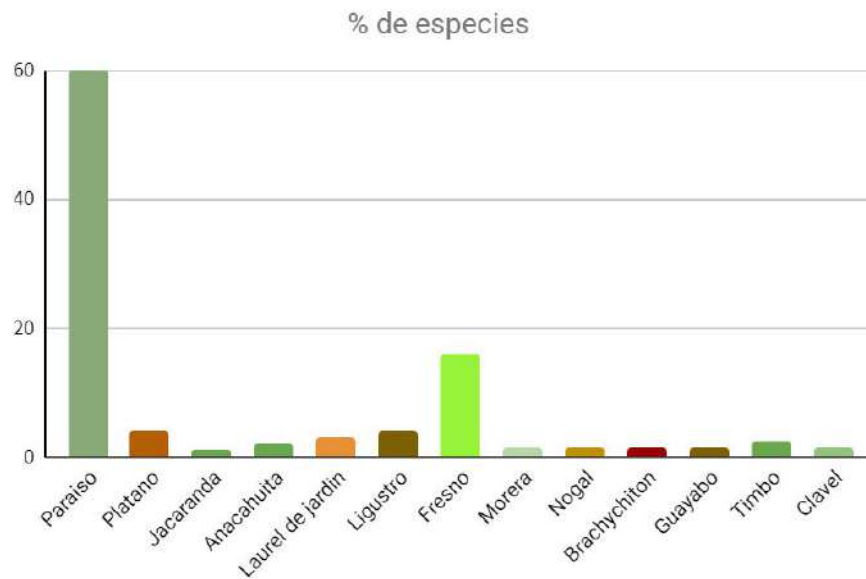


Figura 22 - Distribución de especies de árboles en la ZONA 01. Fuente: elaboración propia.

Si clasificamos el estado general de la población total de los árboles en bueno, regular y malo, el resultado para esta zona (Z01) nos indica que casi la mitad de los árboles se encuentran en mal estado.

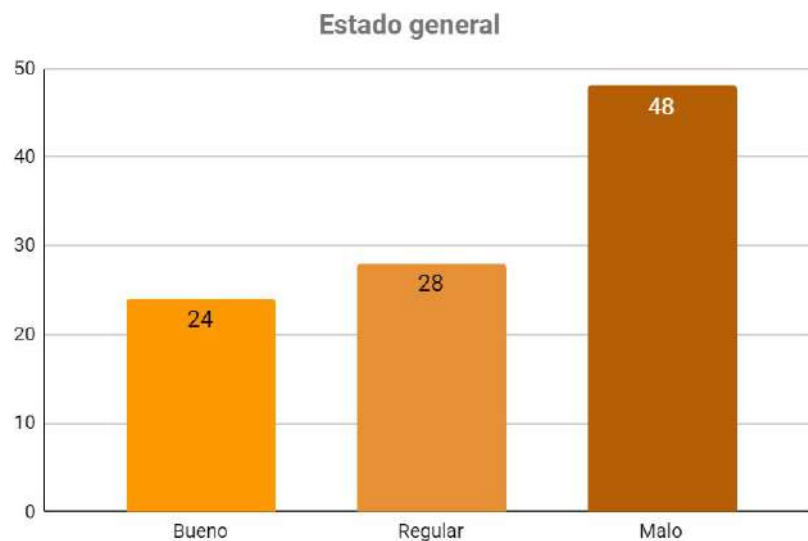
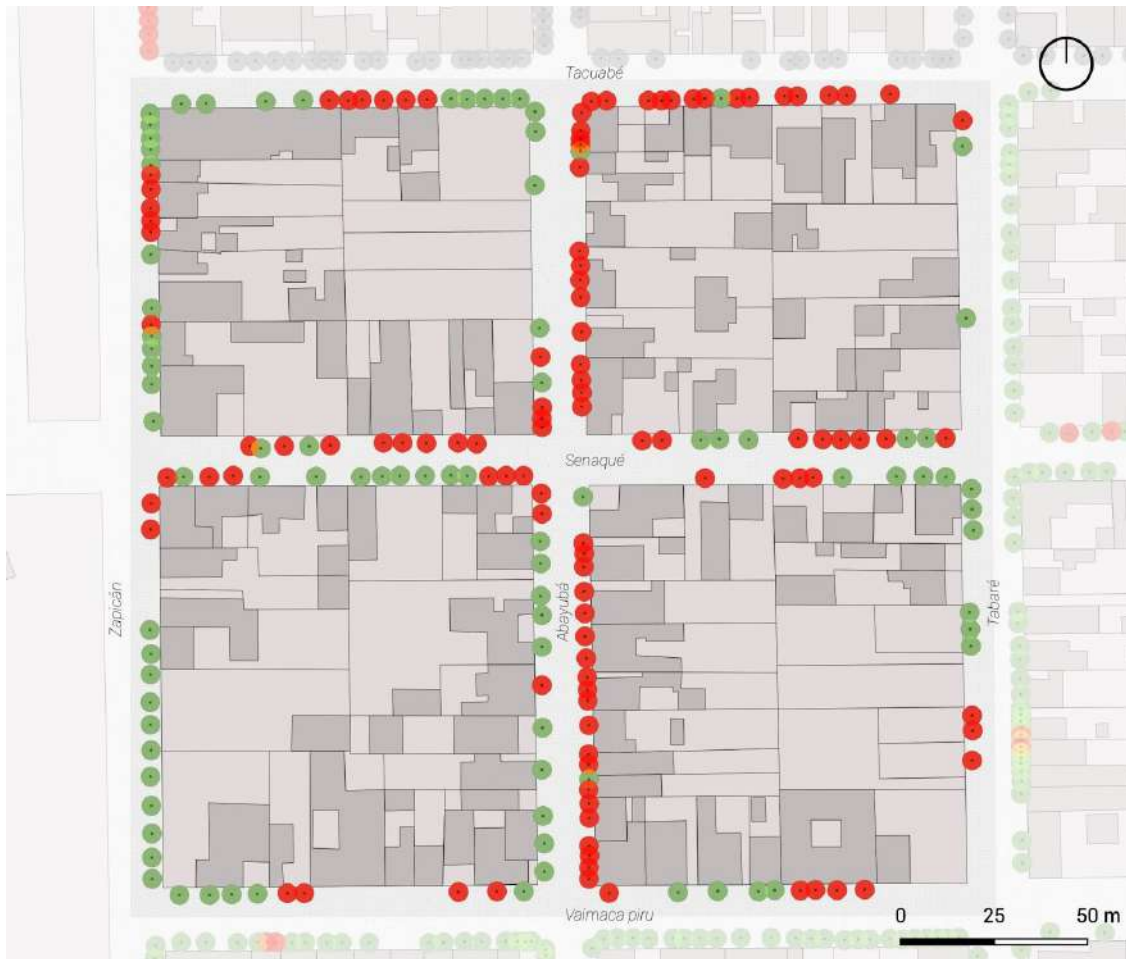


Figura 23 - Estado general del arbolado en ZONA 02. Fuente: elaboración propia.

A partir del relevamiento del estado de la copa de los árboles de la ZONA 01 (Figura 22, gráfica), se identifica un 55% de los árboles sin copa y un 45% con copa, no presentado ninguna tendencia específica respecto a la distribución geográfica de los casos Figura 21 (Mapa).



PRESENCIA DE COPA

- SI
- NO
- SIN ESPECIFICAR

Figura 24 - Plano de mapeo con distribución espacial del estado de la copa de los árboles en la ZONA 01. Fuente: elaboración propia.



Figura 25 - Estado de la copa de los árboles en la ZONA 01. Fuente: elaboración propia.

Es importante señalar que esta práctica que mutila la copa de los árboles no solo les hace perder su estructura original sino que los somete a un gran estrés siendo proclives a contraer enfermedades y plagas además de acortar su expectativa de vida, propicia la penetración de hongos en heridas sin cicatrizar y produce pudriciones. El tipo de corte que se le realiza a las ramas genera protuberancias o deformidades, el mecanismo de supervivencia lleva al árbol a producir brotes múltiples debajo de cada corte, la forma natural del árbol se destruye.



Figura 26 - Imágenes de árboles donde las sucesivas podas inadecuadas producen pérdida de estructura y otros problemas. Fuente: elaboración propia.

Debido a la predominancia de la especie Paraíso en la zona analizada, se detalla para esta especie el estado general y la presencia o no de copa. Preocupa que esta especie presenta un estado general malo que se cuantifica en torno al 60% y un 31% con estado medio, mientras que sólo un 9% se encuentra en buen estado. Estos resultados indican la urgencia de atender esta situación planificando procesos de sustitución y manejo.

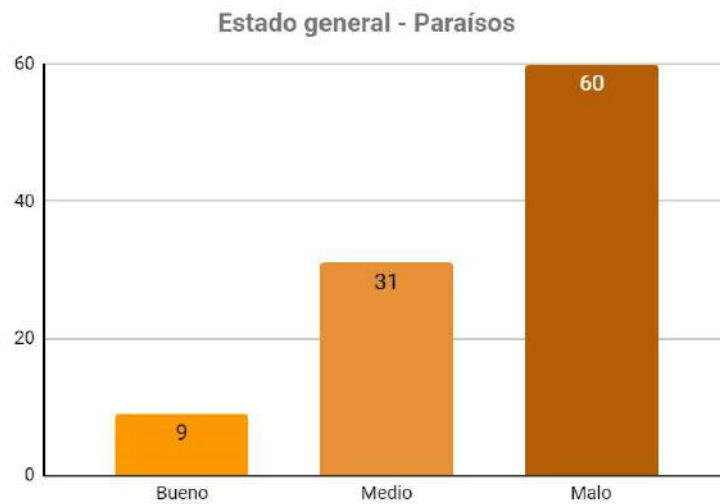


Figura 27 - Estado general Paraísos en la ZONA 01. Fuente: elaboración propia.



Figura 28 - Estado de la copa de los Paraísos en la ZONA 01. Fuente: elaboración propia.

6.3 Resultados zona 02

Se identificaron 12 especies, las que se distribuyen espacialmente de acuerdo a la *Figura 29*, observándose una predominancia significativa de Plátanos que representan el 44% de la población, seguido por Paraísos 29%, Fresnos con un 15% y en menor medida las demás especies (*Figura 30*).

Sin haber realizado un estudio histórico, la hipótesis es que los alineamientos de plátanos responden a plantaciones realizadas para caracterizar calles principales de la ciudad; el plátano fue una de las especies privilegiadas en este sentido, siendo muy usados históricamente en calles, avenidas y plazas.



Figura 29 - Plano de mapeo de distribución espacial de especies de árboles en la ZONA 02. Fuente: elaboración propia.

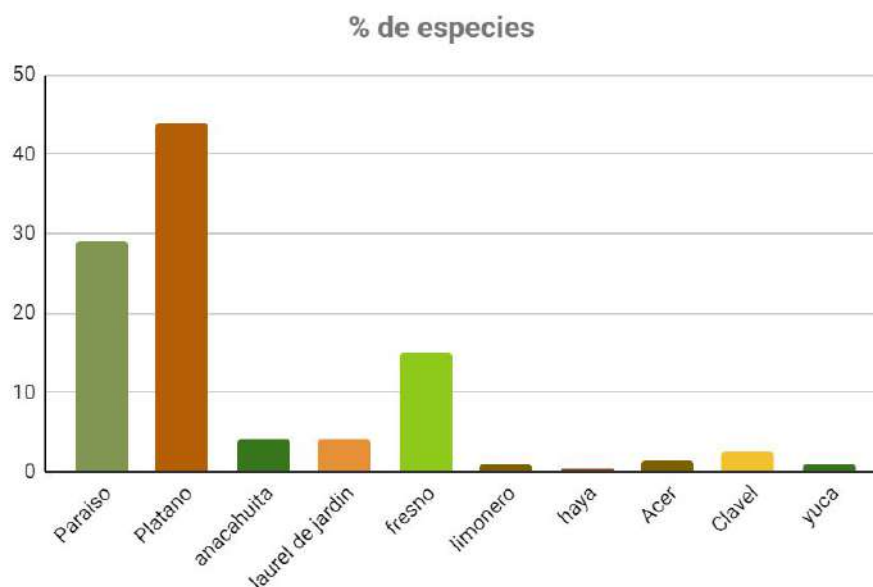


Figura 30 - Distribución de especies de árboles en la ZONA 02. Fuente: elaboración propia.

Al clasificar -de la misma forma que se realizó en Z 01- el estado general de la población total de los árboles en bueno, regular y malo el resultado para esta zona (Z02) nos indica que casi la totalidad de los árboles (80%) se encuentran en mal estado (*Figura 31*). Estos valores son muy significativos y por tanto indicadores de una situación a atender. Se valora que los orígenes de esta situación se encuentran en los procesos históricos desde su plantación, la poda inadecuada, tratamientos incorrectos, modificaciones en los espacios requeridos para su correcto desarrollo o en algunos casos se puede deber al envejecimiento del árbol. Hay que tener presente que sustituir ejemplares de gran envergadura por otros jóvenes significa una inversión importante y una posible pérdida de cubierta vegetal a mediano plazo por lo cual es importante evaluar la posible recuperación de los ejemplares existentes. A esto se suma que los plátanos son caracterizadores del paisaje de estas calles.

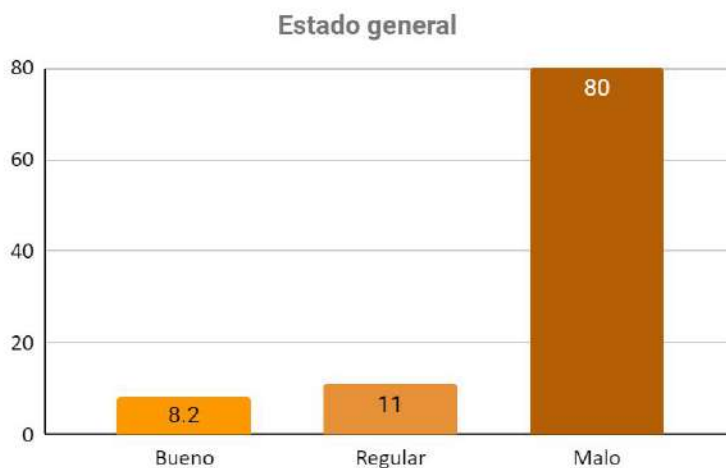


Figura 31 - Estado general del arbolado en ZONA 02. Fuente: elaboración propia.

El mal estado general del arbolado coincide en porcentaje con la ausencia de copa, demostrando la relación directa entre el estado de salubridad y sus condiciones de manejo (Figuras 32 a 36).



Figura 32 - Distribución espacial del estado de la copa de los árboles en la ZONA 02. Fuente: elaboración propia.



Figura 33 - Estado de la copa de los árboles en la ZONA 02. Fuente: elaboración propia.

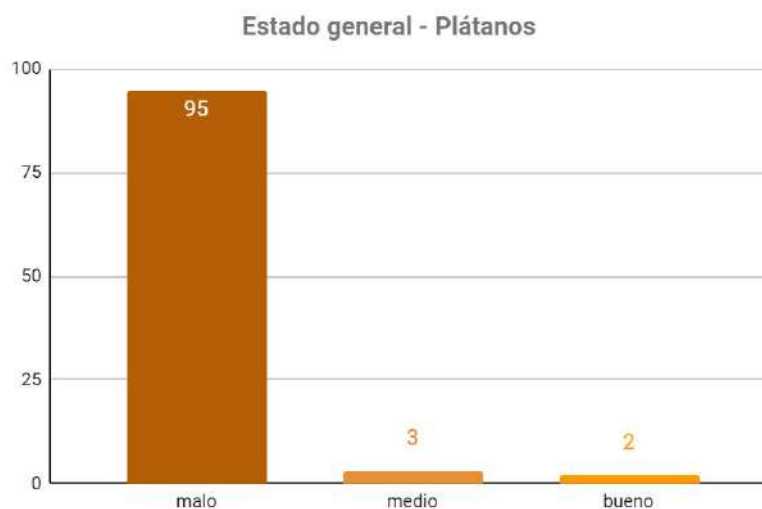


Figura 34 - Estado general de los Plátanos en la ZONA 02. Fuente: elaboración propia.

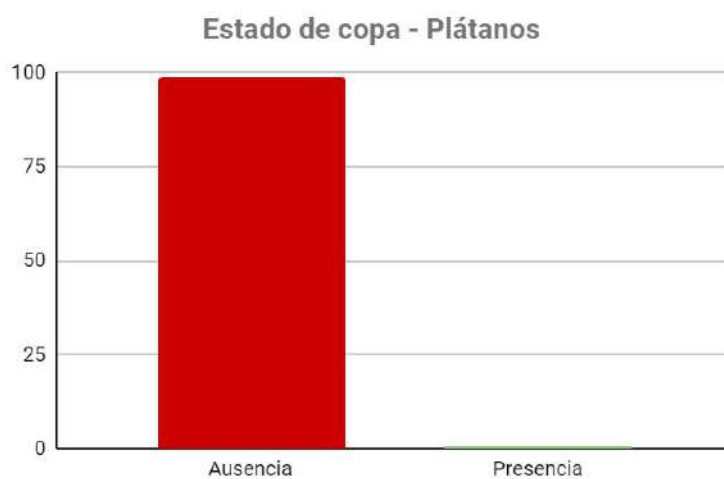


Figura 35 - Estado de la copa de los Plátanos en la ZONA 02. Fuente: elaboración propia.



Figura 36 -Imágenes del estado general y de la copa de los Plátanos. Fuente: elaboración propia.

6.4. Análisis microclimático

Como se explicó anteriormente, el momento del año en que se realizaron las mediciones, el estado del tiempo en esos días y el estado del propio arbolado no fueron las condiciones más favorables para analizar el impacto del arbolado urbano sobre el microclima local.

En la *Figura 37* se puede ver que la mayoría de las personas encuestadas manifestaron que su sensación térmica era de frío y que preferirían sentir levemente más calor. Esta situación se corresponde con el registro de baja temperatura (12,6°C) y la alta velocidad (30Km/h) del aire registradas.

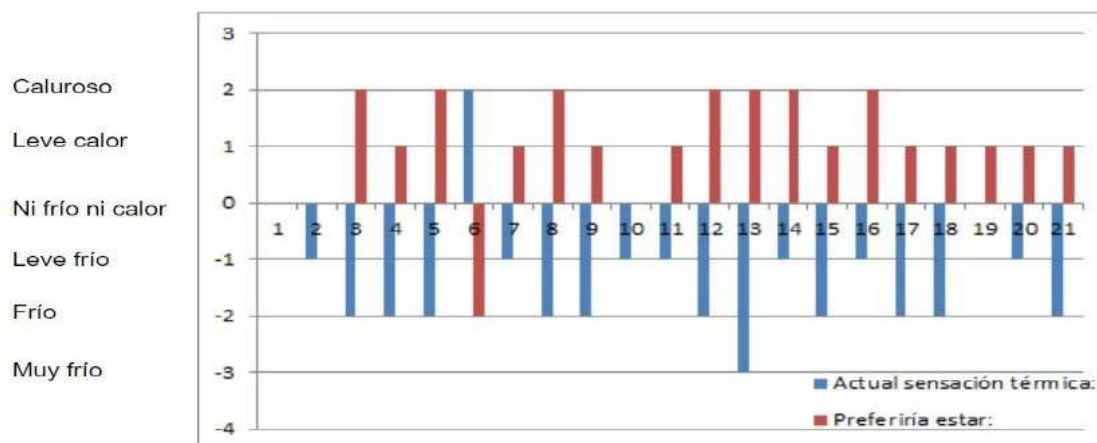


Figura 37 - Respuestas a encuesta de confort: ¿Cuál es su sensación de confort? y ¿Cómo preferiría encontrarse?

Las gráficas de la *Figura 38* muestran las respuestas de las personas encuestadas a la pregunta 'Respecto a los parámetros meteorológicos preferiría que estén...'. El 70% de ellos expresó que prefiere la velocidad del viento más baja, superando levemente a quienes deseaban que la temperatura del aire fuera más alta. Se puede inferir que con esas condiciones del tiempo atmosférico el confort térmico se puede incrementar si aumenta la temperatura del aire o baja la velocidad del viento.

Estos datos muestran que en épocas frías la exposición a vientos fuertes de Juan Lacaze afecta negativamente al confort térmico urbano, por lo que es una variable climática a considerar en la adaptación de la ciudad.

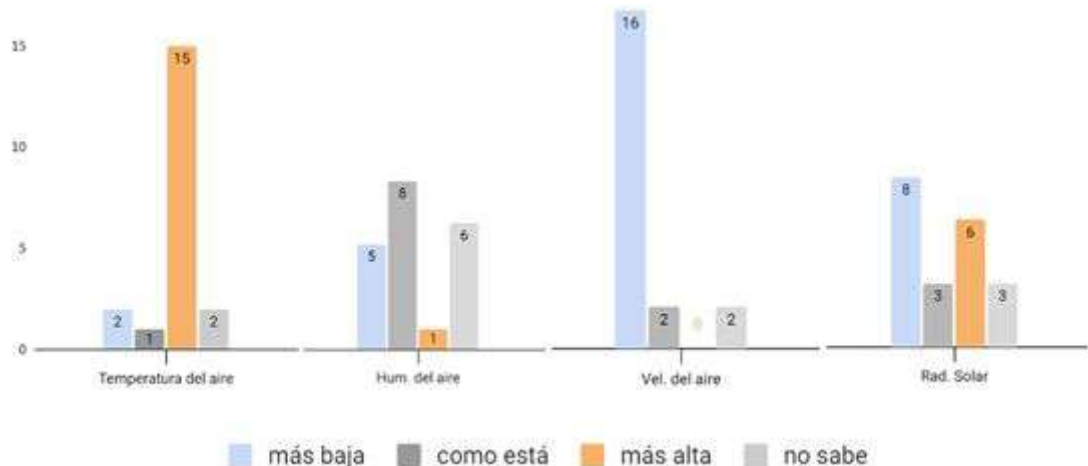


Figura 38 - Respuestas a encuesta de confort: ¿Respecto a los siguientes parámetros meteorológicos, refieren que estén..?

En la *Figura 39* se muestran los registros de temperaturas superficiales y temperatura del aire realizadas. Podemos observar que las temperaturas superficiales registran mayores valores que la temperatura del aire, siendo más acentuado para las temperaturas de superficies horizontales, donde la mayor densidad de mediciones se encuentra entorno a los 20°C.

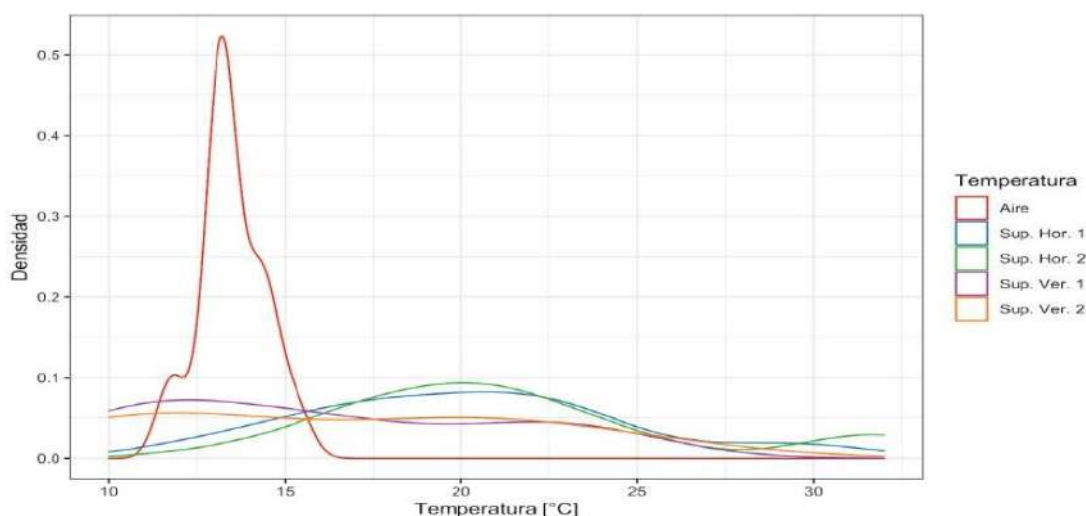


Figura 39 - Distribución de temperaturas de distintas superficies medidas en campo

En la *Figura 40* se muestra una imagen termográfica de un conjunto de viviendas construidas en ladrillo de campo. Por un lado, podemos observar el efecto de la orientación sobre la temperatura de las superficies verticales; en el momento del registro, la superficie que aún no había estado expuesta a la radiación solar directa se encuentra 20°C por debajo que la superficie expuesta.

Por otro lado, podemos ver el efecto del sombreado producido por el arbolado. En una misma superficie, la zona a la sombra del árbol se encuentra 19°C por debajo que la zona expuesta a la radiación solar directa.

En la imagen termográfica siguiente, *Figura 41*, podemos ver sobre la fachada que el tipo de material y color de las superficies tiene también un impacto importante en su temperatura. Se observa que la zona revestida en piedra oscura alcanza temperaturas mayores que la pared de color claro. En el mismo sentido, encontramos temperaturas menores en las zonas cubiertas por césped en comparación con las revestidas con baldosas de hormigón.

Al igual que en la figura anterior se muestra el efecto de la sombra producida por el arbolado que disminuye las temperaturas tanto de las superficies horizontales como de las verticales.

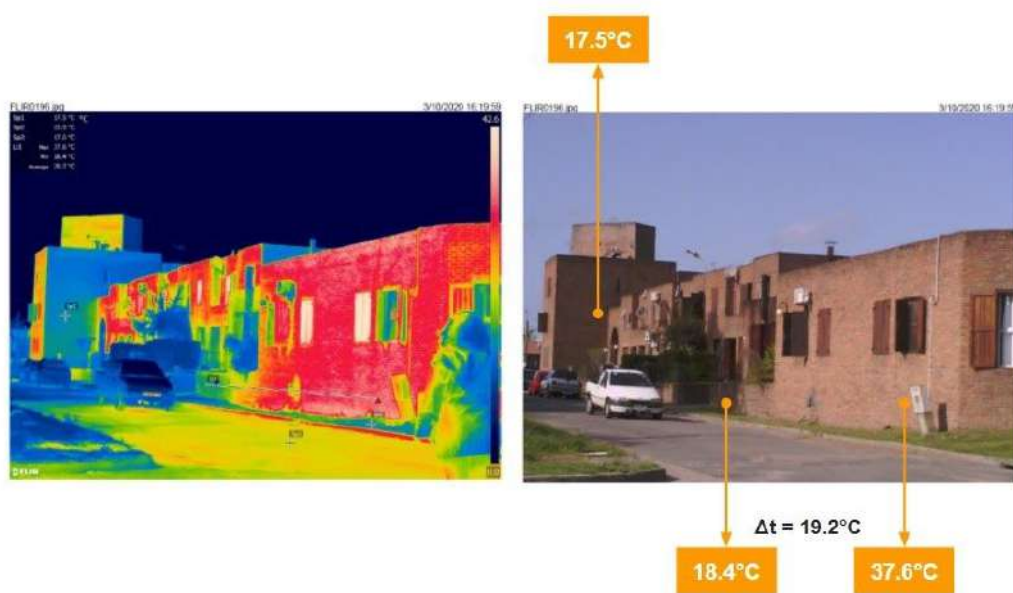


Figura 40 - Imagen termográfica y foto correspondiente con temperaturas registradas



Figura 41 - Imagen termográfica y foto correspondiente con temperaturas registradas

Las imágenes muestran que en un día levemente frío, ventoso y con poco sol, algunas superficies alcanzan valores de temperatura superficial por encima de los 30°C. En los meses más cálidos y en ausencia de arbolado con copa, estos valores serán aún más altos, aumentando la percepción de discomfort por calor de los peatones debido a que la sensación de calor depende más de la exposición al sol y a las superficies calientes que los rodean que de la temperatura del aire, cuando su valor no es extremo.

6.5. Análisis a partir de la aplicación I-TREE

El relevamiento de datos realizado en campo se utiliza como insumo para ejecutar el programa *i-tree eco*, software perteneciente al paquete de programas informáticos *i-tree* - desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos- los cuales son utilizados a nivel mundial para la evaluación cuantitativa de los servicios ecosistémicos que brinda el arbolado urbano en las ciudades. Los programas *i-tree* proveen resultados de distinta índole dependiendo de la información que se le suministra y los datos locales disponibles, que el programa incluye en su base de datos.

i-tree eco tiene la particularidad de brindar resultados a partir de datos relevados en campo.

Los datos relevados en Juan Lacaze y luego sintetizados en tablas por manzanas catastrales y ejemplar arbóreo relevado, fueron adaptados para poder ejecutarlos en *i-tree eco*.

El programa cuenta con información de contaminación de aire y datos meteorológicos correspondiente al año 2015 de la estación ubicada en el departamento de Montevideo, por lo cual se utiliza esa información base para simular los resultados en Juan Lacaze.

Los datos de campo incorporados en *itree eco* son:

- ID ejemplar** (registrado por manzana catastral - ej. M05_001, correspondiente a la manzana catastral 05, primer ejemplar registrado de la manzana en base a un recorrido en sentido horario-)
- Especie - nombre científico**
- DAP** (Diámetro del ejemplar a la altura de pecho, en campo se toma la circunferencia (CAP) se hace una operación matemática en la tabla de datos para transformar la información)
- Altura total del ejemplar** (el programa detectó para el relevamiento realizado algunos errores en este parámetro volcado, por lo cual se desestima)
- Distancia a la fachada más cercana** (Los datos relevados no son suficientes para correrlos en el software, se desestima)
- Presencia de copa.** Si bien este dato es de suma relevancia para las estimaciones de los beneficios del arbolado existente, los datos relevados en campo no son suficientes para correr este atributo en el programa. El mismo configura un modelo de copa de árbol y follaje estimado a partir del DAP y la especie del ejemplar. Los resultados de los beneficios del arbolado urbano -en este caso concreto- considera ejemplares arbóreos sanos y con presencia de copa.

Luego de finalizar el proceso de entrada de datos, incluida la eliminación de la información incompleta, se procede a ejecutar el programa.

Del total de ejemplares relevados en campo, *itree eco* ejecuta correctamente el 86% de los ejemplares, totalizando en 2.424 árboles, para los cuales se obtiene información relativa a:

-Cobertura del bosque urbano y área foliar

- Eliminación de la contaminación del aire por árboles urbanos
- Almacenamiento y secuestro de carbono
- Producción de oxígeno
- Esguerrimiento evitado

Resumen de los resultados a partir de los datos volcados:

- Número de árboles: 2.424
- Cobertura arbórea: 13,24 hectáreas
- Especies más comunes de árboles: *Melia azedarach*, *Fraxinus americana*, *Platanus orientalis*
- Eliminación de la contaminación: 179,5 kilogramos/año
- Almacenamiento de carbono: 1,055 tonelada métrica (\$U8,41 millón)
- Secuestro de carbono: 57,48 tonelada métrica (\$U458 mil/año)
- Producción de oxígeno: 153,3 tonelada métrica/año
- Esguerrimiento evitado: 782,2 metro cúbico/año

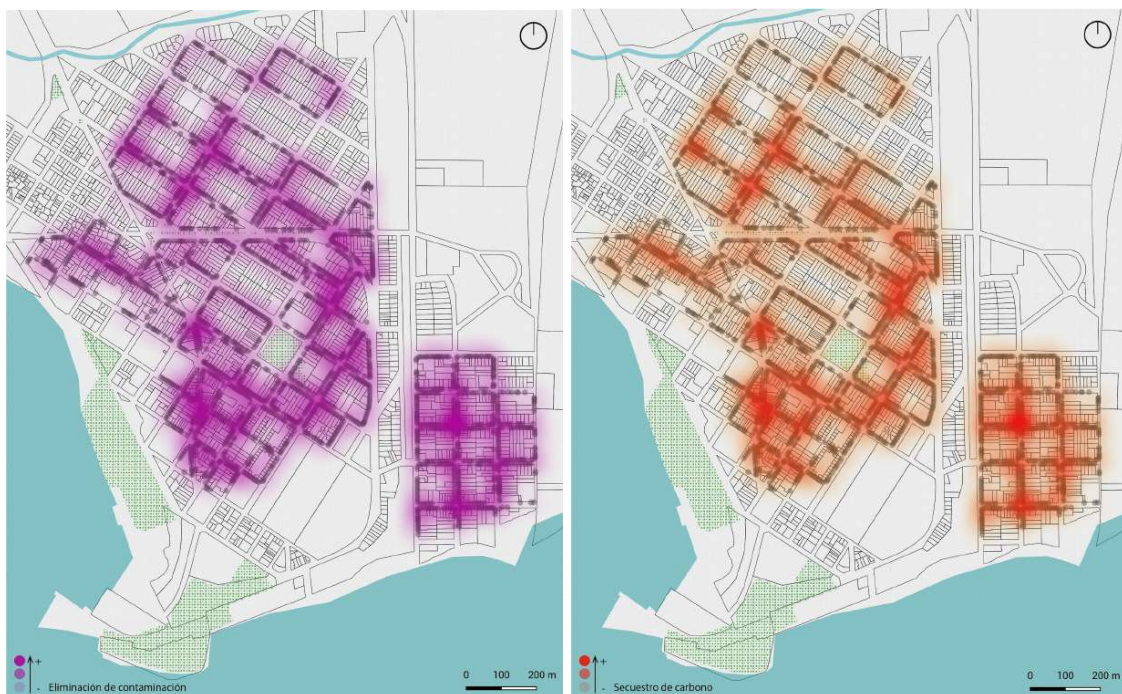


Figura 42 - Plano de mapeo. Estimación espacial eliminación de contaminación del aire y secuestro de carbono.
Fuente: Elaboración propia a partir de resultados *itree eco*

I-tree eco permite caracterizar la estructura del arbolado urbano y cuantificar y valorar los servicios ambientales que provee.

Con los datos adecuados esta herramienta brinda un análisis cuantitativo de la composición y estructura de las especies arbóreas y además estima el almacenamiento y captura de carbono, la remoción de contaminantes atmosféricos, la reducción de escorrentías y la valoración monetaria de estos servicios.

En este caso se aplicó la herramienta en forma experimental sin tener experiencia anterior en el uso de la misma; sin embargo, se demuestra que la información que proporciona permite valorar la importancia del arbolado y así promover su protección, conservación y mejoramiento.

7. Diagnóstico

Realizado el relevamiento y el análisis de los datos como primera síntesis se puede decir:

- **El problema principal radica en el mal estado del arbolado de calle en general.** El stock de arbolado es amplio; el problema no está en la falta de árboles sino en sus condiciones, lo que puede deberse no sólo al mal manejo -podas excesivas y sin criterios establecidos- sino también a la falta de criterios en relación a especies a seleccionar y cómo plantarlas -ubicación, distancias entre ejemplares, distancia a construcciones y a calzada-, dimensiones escasas de alcorques o inexistencia de los mismos.
- **La cantidad de árboles en relación a la población es adecuada.** En base a datos del Censo 2011, el municipio cuenta con una población de 13.635 habitantes. La OMS plantea que se necesita, al menos, un árbol por cada tres habitantes para respirar un mejor aire en las ciudades. Considerando solo el total de árboles relevados (2837 en 67 manzanas de un total de 141) se supera esta estimación.

Según el trabajo realizado por REDD+ en relación a la cobertura arbórea de las ciudades en Uruguay, mientras que la cobertura arbórea promedio nacional -a partir del estudio de 26 ciudades- es de 19,27%, la cobertura de Juan Lacaze es del 20%. Así mismo y reforzando esta constatación, si cada habitante debe contar con 15 m² de cobertura arbórea per cápita para que se cumpla la función de retención de contaminantes y purificación del aire (Bernardi et al. 2020; UESI 2018), Juan Lacaze cuenta con 69 m² por habitante. Es importante señalar que estos valores contabilizan la cobertura arbórea en espacio público y privado.

- **Manejo general del arbolado.** Es importante señalar que el manejo incorrecto, podas inadecuadas y con remoción total de la cobertura foliar, es una condición que se observa tanto en el arbolado de calle como en otros espacios públicos, por ejemplo en la plaza de deportes y el espacio vinculado a la iglesia, frente a la plaza principal.

La gestión aparece como desordenada, sin quedar claros los criterios ni las responsabilidades, (muchas veces la selección de especies, su plantación y el manejo posterior de las mismas es realizada por los vecinos sin una orientación clara).

- **Estado general.**

Se destacan los siguientes aspectos como los más notorios:

Gran porcentaje de los ejemplares relevados presentan graves problemas como huecos, podredumbres o protuberancias en ramas y tronco.

Copas casi inexistentes o mal podadas, con ramas desequilibradas y alteraciones de la estructura natural de los ejemplares, problemática que además incide en temas de seguridad por el riesgo de desprendimiento de ramas o caída de árboles.

Árboles con excesivas ramificaciones o dobles troncos desde la base, que afectan negativamente la formación correcta de la copa de un arbolado de alineación adecuado.

Pavimentos levantados por el crecimiento de raíces por no tener alcorques adecuados.

Interferencias con infraestructuras por falta de planificación integrada.

Como producto de las situaciones que se describen anteriormente, en síntesis podemos afirmar que el arbolado existente no cumple con los servicios ecosistémicos ni colabora con la capacidad de adaptación de la ciudad al CVC. En este sentido el estado del arbolado urbano y en especial la ausencia de copa no aportará al control del microclima, siendo que los plátanos y los paraísos en buen estado y con copa desarrollada pueden interceptar hasta un 85% de la radiación solar y por lo tanto reducir el almacenamiento de energía térmica (calor) y su emisión por radiación de onda larga que afecta directamente a las personas.

8. Lineamientos y recomendaciones generales

En este apartado se plantea esbozar una serie de lineamientos generales que den pautas que permitan responder la interrogante que nos planteamos al comenzar el trabajo: ¿qué cosas tendríamos que conocer, analizar y atender para mejorar el funcionamiento del arbolado público como dispositivo de adaptación al cambio climático y colaborar con la construcción de un paisaje de calidad en la ciudad de Juan Lacaze?

El principio guía de este trabajo es aportar a la mejora en la calidad de vida en la ciudad de Juan Lacaze. En primer lugar entendemos que con acciones integrales sobre el espacio público y con el involucramiento de los habitantes se mejora la calidad de vida de las ciudades.

Del proceso de análisis surgen una serie de aspectos, cuantitativos y cualitativos pero también se constata la necesidad de estudiar y profundizar en otros aspectos que escapan a los objetivos planteados en este trabajo.

en relación al arbolado como parte de la infraestructura verde de la ciudad y al paisaje urbano

Es importante considerar el arbolado urbano de nuestras ciudades como parte de la planificación urbana, como componente definitorio del paisaje urbano y de la calidad de vida de la ciudad, por tanto, integrar el AU como componente esencial del sistema de infraestructura verde (verde vinculado a corrientes de agua, verdes de áreas recreativas, plazas, calles, parques, entre otros) de la ciudad es una estrategia a promover. Para integrar la infraestructura verde de la ciudad deben existir condiciones de conectividad entre ellos.

Para esto es necesario identificar los componentes de esa infraestructura y desarrollar un proceso de planificación donde el arbolado de alineación es un dispositivo componente de la misma.

Desarrollar una planificación en etapas sería una posible estrategia a seguir, con etapas experimentales por sectores de la ciudad. Esto permitiría ensayar procedimientos, modalidades de gestión y promover efectos demostrativos con posibilidades de replicabilidad adaptándose a las circunstancias de cada barrio.

En situaciones de incertidumbre los resultados de una fase de planificación y desarrollo brinda elementos para tomar decisiones en las fases siguientes. La evaluación de las etapas cumplidas permite identificar los ajustes a aplicar.

Comenzar por la periferia de la ciudad donde la infraestructura urbana presenta menos desarrollo intentando trabajar el arbolado como parte de la infraestructura verde y trabajando en forma participativa permitiría generar empoderamiento, responsabilidad, conciencia sobre los beneficios. Las mejoras en estas situaciones serían notorias y el beneficio como experiencia demostrativa puede ser positivo.

“...plantar árboles,es una acción tangible por medio de la cual las poblaciones locales pueden empezar a asumir responsabilidades por la transformación de sus espacios en lugares”
(Desgroppes y Taupin, 2011)

Para esto es necesario contar con un inventario y diagnóstico que permitan tomar decisiones como las de preservar o suprimir árboles, mantener las especies preexistentes o plantar nuevas. Aprovechar las características del arbolado en sus distintas especies para dotar o reafirmar la identidad de cada barrio, sobre todo tener en cuenta la historia de las preexistencias cuando estas conforman un paisaje de carácter identitario.

En el caso de nuevas incorporaciones seleccionar especies adecuadas al sitio para obtener los máximos aportes (servicios ecosistémicos, sociales y culturales) concibiendo el AU como herramienta de adaptación al CVC. No dejar de considerar algunos aspectos negativos como por ejemplo la capacidad alergénica de las especies a seleccionar o la condición de especie exótica invasora

El arbolado urbano puede ser parte del diseño de soluciones basadas en la naturaleza para maximizar el enfriamiento y minimizar el calentamiento natural del espacio público y de las edificaciones. En el caso de arbolado de alineación de calle la selección de especies caducas según cada situación permite el asoleamiento en épocas frías y otorga sombra en épocas calurosas. Esta no es una recomendación generalizable debe mediar un estudio específico de las condiciones de cada lugar.

Disponer de un AU en buen estado, con manejo adecuado y gestión sostenible que refuerce el sentido de identidad. En el caso del arbolado existente ser cuidadoso en la preservación del mismo cuando su estado sanitario lo amerite ya que es un componente caracterizador que otorga identidad a los diferentes barrios y jerarquiza calles y avenidas.

Avanzar en el valor que los ciudadanos dan al arbolado desarrollando políticas de capacitación, revalorizando el arbolado como patrimonio local y evidenciando sus múltiples funciones.

Formación, difusión, participación

Desarrollar procesos participativos que apunten a:

Trabajar con la población para conocer sus expectativas, promover cambios de paradigma en relación a su valoración y percepción de los árboles y de la infraestructura verde en general. Desarrollar proyectos con colaboración de los vecinos desde la fase de diseño de las actuaciones, permite desde el primer momento contemplar las sugerencias de los vecinos de la zona y promueve el compromiso y sentido de pertenencia.

Desarrollar un manual para público en general en el que a partir de una breve introducción donde se aclare la importancia del arbolado para el confort urbano, la conformación de infraestructura verde, el embellecimiento de la ciudad y otros aspectos de interés en relación al AU, se den recomendaciones en relación a especies y su manejo.

Realizar instancias de formación de operarios que le proporcionen herramientas para la interpretación de la calidad ambiental, el reconocimiento de especies, la sanidad y el mantenimiento del arbolado de acuerdo a sus funciones y características.

9. Anexo. Informe / tree eco

El bosque urbano de Juan Lacaze tiene 2.424 árboles con una cobertura de árboles de *Melia azedarach*. Las tres especies más comunes son *Melia azedarach* (54,4 por ciento), *Fraxinus americana* (17,4 por ciento) y *Platanus orientalis* (11,0 por ciento).

Cobertura del bosque urbano y área foliar

Muchos beneficios de los árboles corresponden directamente con la cantidad de área superficial saludable de las hojas de las plantas. Los árboles cubren casi 13,24 hectáreas de Juan Lacaze.

Las especies más dominantes en términos de área foliar son el Paraíso, Plátano y Fresno.

Nombre de la especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas
<i>Melia azedarach</i>	54,4	59,4
<i>Platanus orientalis</i>	11,0	22,5
<i>Fraxinus americana</i>	17,4	10,7
<i>Schinus molle</i>	4,5	0,4
<i>Nerium oleander</i>	2,9	0,8
<i>Ligustrum lucidum</i>	2,3	1,4
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0,9	0,9
<i>Chorisia speciosa</i>	0,9	0,6
<i>Salix humboldtiana</i>	0,7	0,6
<i>Quercus robur</i>	0,7	0,5

Fig. 01 Especies más importantes y porcentaje del área de las hojas. Fuente: Informe itree eco, Juan Lacaze. 2020

Eliminación de la contaminación del aire por árboles urbanos

El bosque urbano puede ayudar a mejorar la calidad del aire reduciendo la temperatura del aire, eliminando directamente los contaminantes del aire y reduciendo el consumo de energía de los edificios, que por consiguiente reduce las emisiones de los contaminantes del aire de las fuentes eléctricas. Los árboles también emiten compuestos orgánicos volátiles que pueden contribuir a la formación de ozono. Sin embargo, los estudios integrados han dado a conocer que el aumento en la cobertura de los árboles conduce a una menor formación de ozono (Nowak y Dwyer 2000).

Eliminación de la contaminación por árboles se calculó usando datos de campo y la contaminación reciente disponible y estado del tiempo datos disponibles. La eliminación de la contaminación fue mayor para nitrógeno de dióxido. Se estima que los árboles eliminaron 179,5 kilogramos de la contaminación del aire (ozono (O3), monóxido de carbono (CO), dióxido

de nitrógeno (NO₂), material particulado menor a 2.5 micrones (PM_{2.5}), y dióxido de sulfuro (SO₂)) por año.

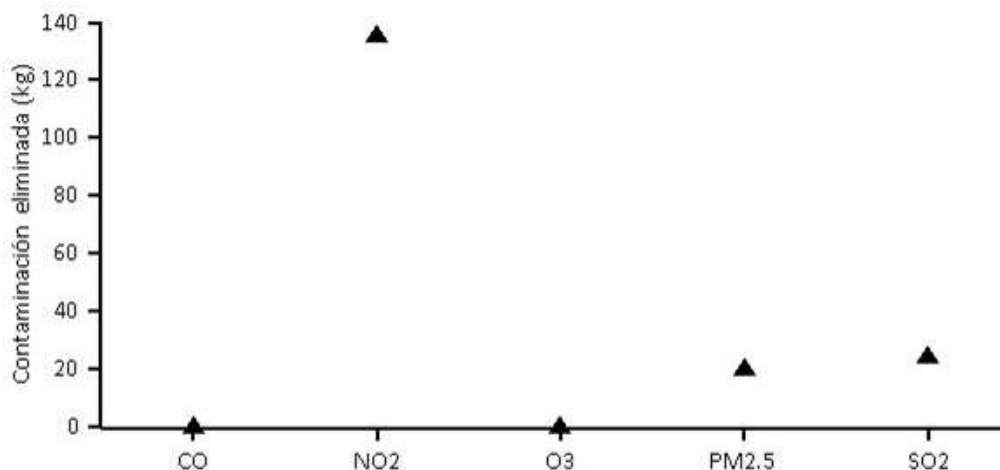


Fig. 02. Eliminación anual de la contaminación expresada kg. Fuente: Informe itree eco, Juan Lacaze. 2020

El almacenamiento de carbono es otra manera en la que los árboles pueden influenciar el cambio climático global. Conforme un árbol crece, almacena más carbono sujetándolo en su tejido. Cuando el árbol se muere y descompone, nuevamente libera la mayoría del carbono almacenado a la atmósfera. Por lo tanto, el almacenamiento de carbono es una indicación de la cantidad de carbono que se puede liberar si se permite que los árboles mueran y se descompongan. **Mantener árboles saludables mantendrá el carbono almacenado en los árboles**, pero el mantenimiento de los árboles puede contribuir a las emisiones de carbono (Nowak et al 2002c). Cuando un árbol muere, usar la madera en productos madereros a largo plazo, para calentar edificios o para producir energía ayudará a reducir las emisiones de carbono de la descomposición de la madera o de centrales eléctricas de combustibles fósiles o madereros.

En 2020, los árboles en Juan Lacaze emiten aproximadamente 162,8 kilogramos de compuestos orgánicos volátiles (COV) (141,6 kilogramos de isopreno y 21,21 kilogramos de monoterpenos). Las emisiones varían entre las especies con base en las características de las mismas (p. ej., algunos géneros como los robles son altos emisores de isopreno) y la cantidad de biomasa de las hojas. 83% de las emisiones de COV del bosque urbano fueron de *Platanus orientalis* y *Melia azedarach*. Estos COV son sustancias químicas precursoras de la formación de ozono.



Figura 03 - Plano de mapeo. Estimación espacial eliminación de la contaminación del aire. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados *itree eco*

Almacenamiento y secuestro de carbono

Los árboles urbanos pueden ayudar a mitigar el cambio climático al secuestrar el carbono atmosférico (del dióxido de carbono) en los tejidos y al alterar el uso de la energía en los edificios, y por consiguiente alterar las emisiones de dióxido de carbono de las fuentes eléctricas de combustibles fósiles (Abdollahi et al 2000).

Los árboles reducen la cantidad de carbono en la atmósfera al secuestrar el carbono en el crecimiento nuevo cada año. La cantidad de carbono secuestrada anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles. El secuestro bruto de árboles de Juan Lacaze es casi 57,48 toneladas métricas del carbono por año con un valor asociado de \$U458 mil. Para más detalles de los métodos ver el Apéndice I.

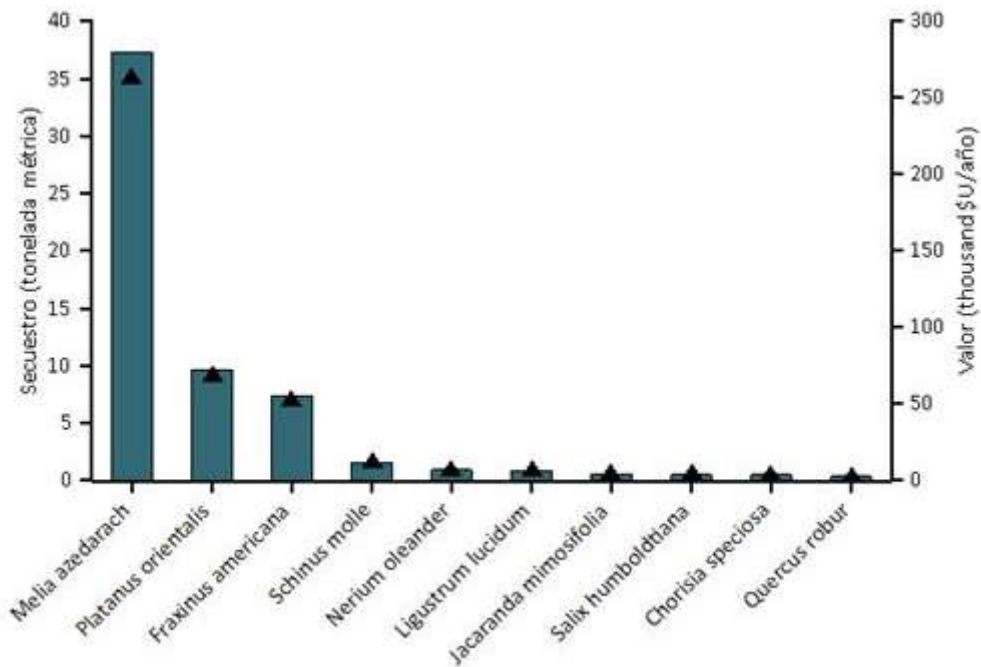


Fig. 04. Secuestro bruto anual de carbono (puntos) y valor (barras) calculado para especies de árboles urbanos con el mayor secuestro en Juan Lacaze. Fuente: Informe itree eco, Juan Lacaze. 2020

Se calcula que los árboles en JL2 almacenan 1060 toneladas de carbono (\$U8,41 millón). De las especies muestreadas, Melia azedarach almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono (aproximadamente 61,9% del total de carbono almacenado y 61% de todo el carbono secuestrado)

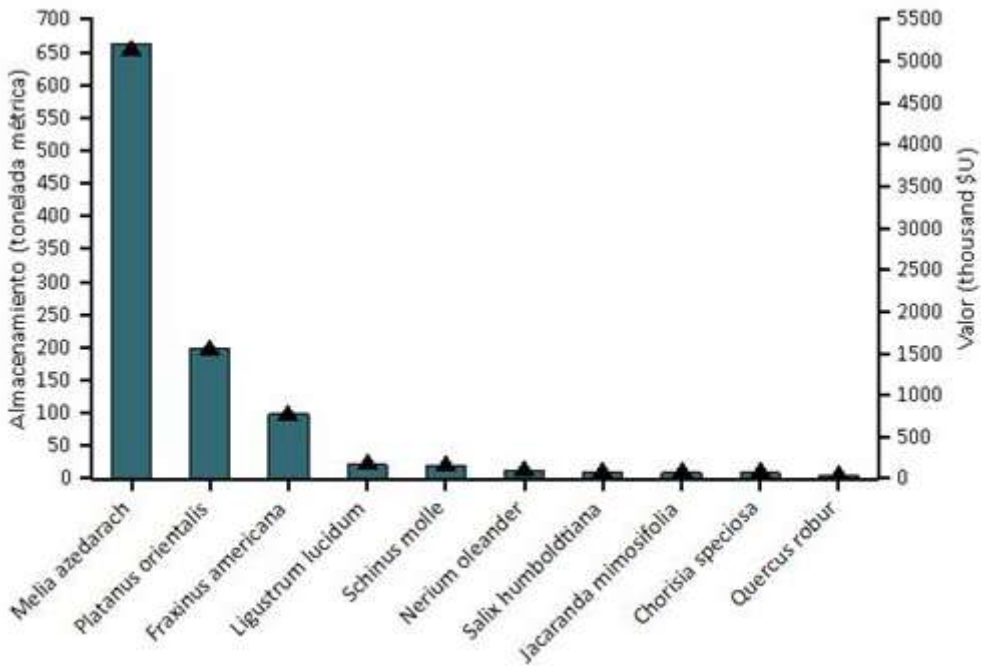


Fig.05. Almacenamiento de carbono calculado (puntos) y valores (barras) calculado para especies de árboles urbanos con el mayor almacenamiento en Juan Lacaze. Fuente: Informe itree eco, Juan Lacaze. 2020

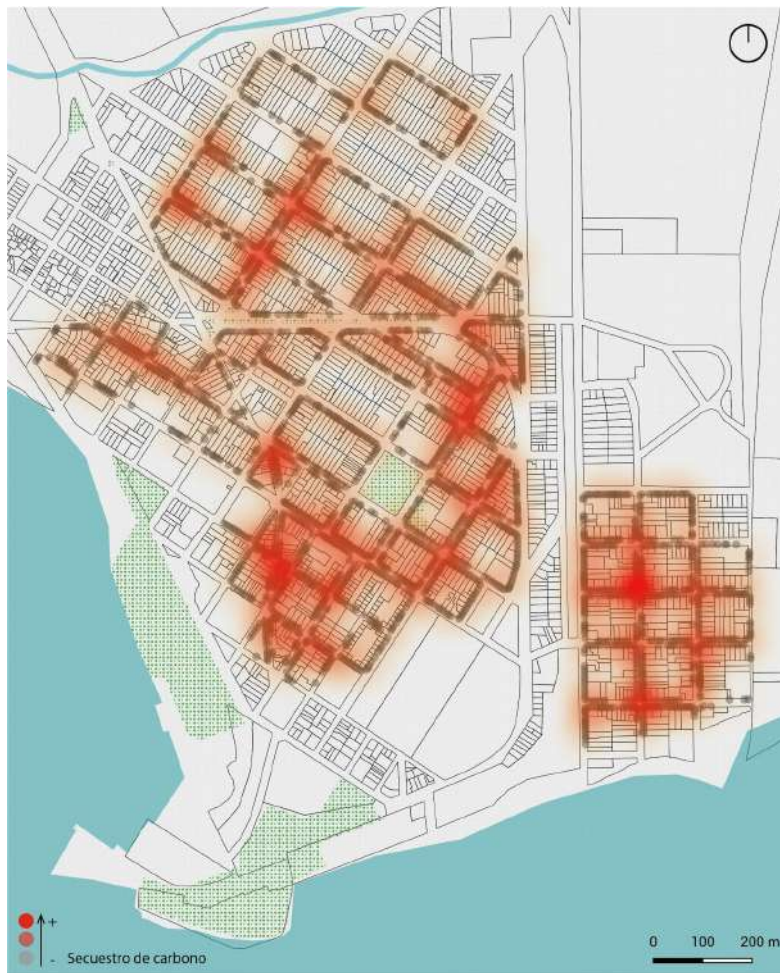


Figura 06 - Plano de mapeo. Estimación espacial secuestro de carbono. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados *itree eco*

Producción de oxígeno

La producción de oxígeno es uno de los beneficios de los árboles urbanos más comúnmente citados. La producción anual de oxígeno de un árbol está directamente relacionada con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, la cual está vinculada con la acumulación de biomasa del árbol.

Se calcula que los árboles en Juan Lacaze producen 153,3 tonelada métrica de oxígeno al año. Sin embargo, este beneficio de los árboles es relativamente insignificante debido a la gran y relativamente estable cantidad de oxígeno en la atmósfera y extensa producción por los sistemas acuáticos. Nuestra atmósfera tiene una enorme reserva de oxígeno. Si se consumieran todas las reservas de combustibles fósiles, todos los árboles y toda la materia orgánica en el suelo, el oxígeno de la atmósfera sólo se reduciría en un mínimo porcentaje (Broecker, 1970).

Las principales 20 especies productoras de oxígeno:

Nombre de la especie	Oxígeno (tonelada métrica)	Secuestro bruto de carbono (tonelada métrica/año)	Número de árboles	Área foliar (há)
<i>Melia azedarach</i>	93,55	35,08	1.318	36,22
<i>Platanus orientalis</i>	24,36	9,13	266	13,75
<i>Fraxinus americana</i>	18,47	6,93	422	6,54
<i>Schinus molle</i>	4,04	1,51	109	0,27
<i>Nerium oleander</i>	2,34	0,88	71	0,47
<i>Ligustrum lucidum</i>	2,30	0,86	55	0,86
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1,51	0,57	22	0,54
<i>Salix humboldtiana</i>	1,33	0,50	18	0,36
<i>Chorisia speciosa</i>	1,29	0,48	22	0,39
<i>Quercus robur</i>	0,94	0,35	17	0,28

Fig. 07. Principales 10 especies productoras de oxígeno. Fuente: Informe itree eco, Juan Lacaze. 2020

Escurrimiento evitado

El escurrimiento superficial puede ser causa de preocupación en muchas áreas urbanas ya que puede contribuir a la contaminación de arroyos, humedales, ríos, lagos y océanos. Durante los eventos de precipitación, cierta cantidad se ve interceptada por la vegetación (árboles y matorrales) mientras que la otra alcanza el suelo. La cantidad de la precipitación que llega al suelo y no se filtra se vuelve escurrimiento superficial (Hirabayashi 2012). En las áreas urbanas, la gran extensión de superficies impermeables aumenta la cantidad de escurrimiento superficial.

Sin embargo, los árboles y matorrales urbanos son benéficos al reducir el escurrimiento superficial. Los árboles y matorrales interceptan la precipitación, mientras que sus sistemas de raíces promueven la infiltración y el almacenamiento en el suelo. Los árboles y matorrales de Juan Lacaze ayudan a reducir el escurrimiento por casi 782 metros cúbicos al año. El escurrimiento evitado se calcula en base al estado del tiempo de la localidad de la estación meteorológica designada (Montevideo). Siendo la precipitación anual total para el año 2015 de 23,8 centímetros.

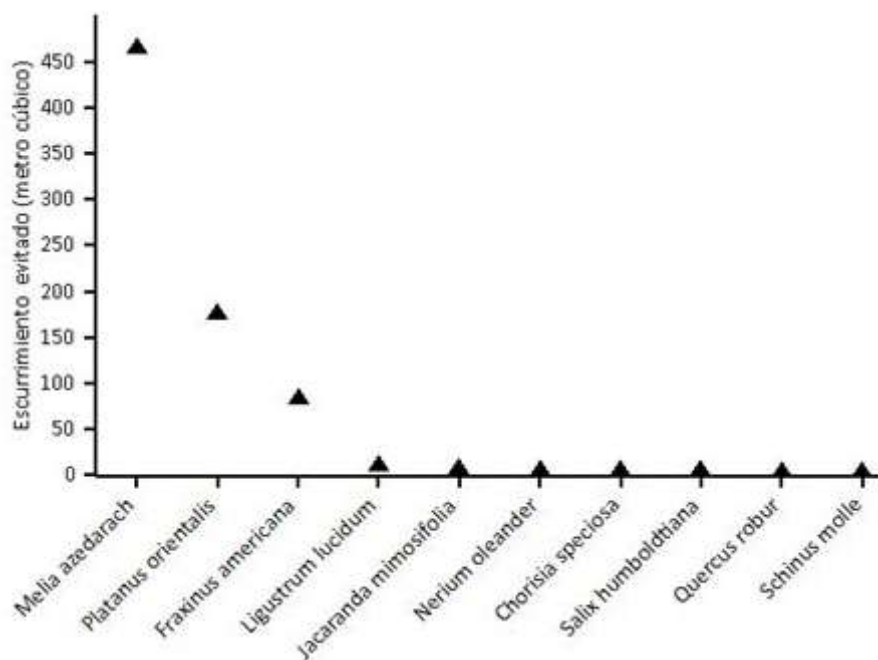


Fig. 08. Escurreminto evitado para las especies con mayor impacto general en el escurreminto. Fuente: Informe itree eco, Juan Lacaze. 2020

Uso de la energía de árboles y edificios

Los árboles afectan el consumo de energía al dar sombra a los edificios, proporcionar un enfriamiento evaporativo y al obstruir los vientos de invierno. Los árboles tienden a reducir el consumo de energía de los edificios durante los meses de verano y pueden aumentar o disminuir el uso de la energía del edificio en los meses de invierno, según el lugar de los árboles alrededor del edificio. Los cálculos de los efectos de los árboles en el uso de la energía se basan en las mediciones de campo de la distancia y la dirección de los árboles a los edificios residenciales condicionados al espacio (McPherson y Simpson 1999).

Debido a que no se recopilaban datos específicos relacionados con la energía, no pueden calcularse los ahorros de energía y al carbono evitado.

Valores estructurales y funcionales

Los bosques urbanos tienen un valor estructural basado en los mismos árboles (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar); también tienen valores funcionales (ya sea positivos o negativos) basados en las funciones que desempeñan los árboles.

El valor estructural del bosque urbano tiende a subir cuando aumenta el número y tamaño de los árboles saludables (Nowak et al 2002a). Los valores funcionales anuales también tienden a aumentar con un mayor número y tamaño de árboles saludables. A través de un manejo adecuado, los valores del bosque urbano pueden aumentarse; sin embargo, los valores y los beneficios también pueden disminuir conforme la cantidad de cobertura de árboles saludables se reduce.

Modelo y mediciones de campo de i-Tree Eco

Características de los árboles:

Se evaluó el área de las hojas de los árboles usando las mediciones de las dimensiones de la copa y el porcentaje de copa faltante. En caso de que dichas variables no se hayan recopilado, el modelo las calcula.

No existe un análisis disponible de especies invasoras para estudios fuera de Estados Unidos. Para EEUU, las especies invasivas se identifican usando una lista de especies invasivas para el estado en el que se ubica el bosque urbano. Las listas no son exhaustivas y cubren especies invasivas con varios grados de invasión y distribución. En casos donde un estado no tuvo una lista de especies invasivas, se crea una lista con base en las listas de los estados adyacentes. Las especies de árboles que se identifican como invasoras por la lista estatal de especies invasivas se comparan con los datos de distribución de las nativas. Esto ayuda a eliminar a las especies que están en la lista estatal de especies invasivas, pero que son nativas del área de estudio.

Eliminación de la contaminación del aire:

La eliminación de la contaminación se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y material particulado menor a 2.5 micrones. El material particulado menor a 10 micrones (PM10) es otro contaminante importante del aire. Dado que i-Tree Eco analiza material particulado menor a 2.5 micrones (PM2.5) el cual es una subserie de PM10, PM10 no se incluye en este análisis. PM2.5 por lo general es más relevante en las discusiones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana.

Los cálculos de la eliminación de la contaminación del aire se derivan de los cálculos de la resistencia del dosel de los árboles al ozono, sulfuro y dióxido de nitrógeno por hora con base en un híbrido de los modelos de deposición de doseles de hojas grandes y de multicapas (Balducchi 1988; Balducchi et al 1987). Ya que la eliminación de monóxido de carbono y material particulado por la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, los índices de eliminación (velocidades de deposición) para dichos contaminantes se basan en los valores promedio medidos de la literatura (Bidwell y Fraser 1972; Lovett 1994) que se modificaron según la fenología y área de las hojas. La eliminación del particulado incorporó un índice de suspensión del 50 por ciento de partículas de regreso a la atmósfera (Zinke 1967). Las últimas actualizaciones (2011) al modelaje de la calidad del aire se basan en mejores simulaciones del índice del área de las hojas, procesamiento e interpolación del estado del tiempo y la contaminación, y valores monetarios actualizados de los contaminantes (Hirabayashi et al 2011; Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011).

Los árboles eliminan PM2.5 cuando el material particulado se deposita en la superficie de las hojas (Nowak et al 2013). Dicho PM2.5 depositado puede volverse a suspender en la atmósfera o eliminarse durante la lluvia y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación y valor de la contaminación positiva o negativa dependiendo de varios factores atmosféricos. Por lo general, la eliminación de PM2.5 es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, existen casos donde la eliminación neta es negativa o las partículas vuelven a suspender conducen a mayores concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (p. ej., sin lluvia), los árboles vuelven a suspender más partículas de las que eliminan. La resuspensión puede conducir a un aumento general de las concentraciones de PM2.5 si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos de resuspensión neta que durante los períodos de eliminación neta. Debido a que los valores de eliminación de la contaminación se basan en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible contar con situaciones donde los árboles eliminan PM2.5 pero aumentan las concentraciones y por ello tienen valores negativos durante períodos positivos de eliminación general. Dichos eventos no son comunes, pero pueden suceder.

Para reportes en Estados Unidos, el valor predeterminado de la eliminación de la contaminación del aire se calcula con base en la incidencia local de los efectos adversos a la salud y en los costos nacionales de externalidades promedio. El número de efectos adversos a la salud y el valor económico asociado se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno y material particulado menor a 2.5 micras usando datos del Programa de Asignaciones y Análisis de Beneficios Ambientales (BenMAP) de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (Nowak et al 2014). El modelo usa un enfoque en función del daño que se basa en los cambios locales de la concentración de la contaminación y la población. Los costos nacionales de externalidades promedio se usan para calcular el valor de la eliminación del monóxido de carbono (Murray et al 1994).

Para reportes internacionales, se usaron valores locales de la contaminación definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en los valores europeos de externalidades promedio (van Essen et al 2011) o en las ecuaciones de regresión BenMAP (Nowak et al 2014) que incorporan cálculos de población definidos por el usuario. Luego los valores se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario.

Para este análisis, el valor de la eliminación de la contaminación se calcula con base en los precios de \$U0 por tonelada métrica (monóxido de carbono), \$U0 por tonelada métrica (ozono), \$U0 por tonelada métrica (dióxido de nitrógeno), \$U0 por tonelada métrica (dióxido de sulfuro), \$U0 por tonelada métrica (material particulado menor a 2.5 micrones).

Almacenamiento y secuestro de carbono:

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en las partes de la vegetación leñosa sobre el suelo y bajo el mismo. Para calcular el almacenamiento actual de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol usando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos. Los árboles maduros con mantenimiento tienden a tener menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque (Nowak 1994). Para ajustar la diferencia, los resultados de la biomasa para árboles urbanos maduros se multiplicaron por 0.8. No se hizo ninguna modificación para árboles en condiciones naturales. La biomasa del peso seco de los árboles se convirtió a carbono almacenado multiplicándola por 0.5.

El secuestro de carbono es la eliminación del dióxido de carbono del aire por las plantas. Para calcular la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se añadió el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase de diámetro y condición del árbol al diámetro existente del mismo (año x) para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año $x+1$.

Los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se basan en los valores de carbono locales calculados o personalizados. Para los reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en el valor del carbono para Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental de EEUU 2015, Grupo de Trabajo Interagencial del Costo Social del Carbono 2015) y se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario.

Para este análisis, los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se calculan con base en \$U7.974 por tonelada métrica.

Producción de oxígeno:

La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono con base en los pesos atómicos: liberación neta de O_2 (kg/año) = secuestro neto de C (kg/año) \times 32/12. Para calcular el índice de secuestro neto de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento del árbol se reduce por la cantidad perdida que resulta de la mortalidad del árbol. Por lo tanto, el secuestro neto de carbono y la producción anual neta de oxígeno del bosque urbano consideran la descomposición (Nowak et al 2007). Para proyectos de inventario completo, la producción de oxígeno se calcula a partir del secuestro bruto de carbono y no considera la descomposición.

Escurrimiento evitado:

El escurrimiento superficial evitado anual se calcula con base en las precipitaciones interceptadas por la vegetación, en particular la diferencia entre el escurrimiento anual con y sin vegetación. Aunque las hojas de los árboles, las ramas y la corteza pueden interceptar la lluvia y mitigar así el escurrimiento evitado, sólo se toman en cuenta las precipitaciones interceptadas por las hojas.

El valor del escurrimiento evitado se basa en los valores locales calculados o los definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, se utiliza el valor promedio nacional para Estados Unidos y se convierte al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario. El valor de EEUU para el escurrimiento evitado se basa en las Series del Manual de Árboles Comunitarios del Servicio Forestal de EEUU (McPherson et al 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al 2009; 2010; Vargas et al 2007a; 2007b; 2008).

Para este análisis, el valor del escurrimiento evitado se calcula con base en el precio de \$U0,00 por m^3 .

Uso de energía de edificios:

Si se recopilaron los datos de campo correspondientes, los efectos estacionales de los árboles en el uso de la energía de edificios residenciales se calcularon con base en los procedimientos descritos en la literatura (McPherson y Simpson 1999) usando la distancia y dirección de los árboles a partir de las estructuras residenciales, la altura de los árboles y los datos de las condiciones de los mismos. Para calcular el valor monetario de los ahorros de energía, se usaron los precios locales o personalizados por MWH o MBTU.

Para este análisis, el valor del ahorro de energía se calcula con base en los precios de \$U0,00 por MWH y \$U0,00 por MBTU.

Valores estructurales:

El valor estructural es el valor de un árbol con base en el mismo recurso físico (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar). Los valores estructurales se basan en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y el Paisaje, que usa la información de especie, diámetro, condición y lugar del árbol (Nowak et al 2002a; 2002b). El valor estructural puede no incluirse en proyectos internacionales si no se cuentan con datos locales suficientes para concluir los procedimientos de valoración.

Bibliografía

AJUNTAMENT DE BARCELONA. Medi Ambient i Serveis Urbans - Hàbitat Urbà. 2013. Plan verde y de la Biodiversidad de Barcelona 2020. Barcelona, España.

BERNARDI, L., JUSTO, C. y OLIVERA, J. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - Ministerio de Ambiente. Montevideo. Proyecto REDD+ Uruguay. 2020. Insumos para el diagnóstico de la cobertura arbórea de ciudades pilotos del proyecto "Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructuras y ordenamiento territorial". (inédito) Proyecto Adapta FADU.

Desgroppes, Amélie y Sophie Taupin. 2011. Kibera: The Biggest Slum in Africa? Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/280785310_Kibera_The_Biggest_Slum_in_Africa

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO. Herramienta de evaluación de sustentabilidad de espacios públicos. ISBN: 978-956-9275-70-8

FAO. 2016. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes N° 178, Roma, FAO.

FARIÑA TOJO, J. et al. 2013. Manual de diseño bioclimático : Manual de recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas. Instituto Politécnico de Bragança., Bragança, Portugal.

SERVICIO FORESTAL DEL USDA, et al. 2016. Manual de campo I tree eco. Recuperado de: https://www.itreetools.org/documents/195/EcoV6_FieldManual.es.pdf

SERVICIO FORESTAL DEL USDA, et al. 2020. Reporte *itree eco*, Juan Lacaze 2020.

MADERUELO, J. El paisaje urbano. 2010. Revista Estudios Geográficos Vol. LXXI, 269, pp. 575-600.

NOWAK, D.J.; CRANE, D.E.; STEVENS, J.C.; HOEHN, R.E. 2005. The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p. http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf

OCHOA DE LA TORRE, J.M. 2010. Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos. Palapa, Universidad de Colima, México.

TAHERI SHAHRAINY, H., SODOUDI, S., EL-ZAFARANY, A., ABOU EL SEOUD, T., ASHRAF, H., y KRONE, K. 2016. A Comprehensive Statistical Study on Daytime Surface Urban Heat Island during summer in Urban Areas, Case Study: Cairo and Its New Towns. *Remote Sensing*, 8(8), 643.