

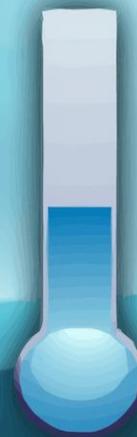


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Universitat Politècnica de Catalunya
Tesis Doctoral

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Caso de estudio Barcelona, España y Santo Domingo, República Dominicana



GILKAURIS MARÍA ROJAS CORTORREAL

Directores: Dr. Jaime Roset Calzada
Dr. Francesc Navés Viñas

Departamento de Tecnología de la Arquitectura I
Programa de Doctorado de Arquitectura Energía y Medio Ambiente
Escuela Técnica de Arquitectura de Barcelona (ETSAB)

Barcelona, Septiembre del 2016

La presente tesis doctoral se realizó gracias al apoyo brindado por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, MESCyT. A través de la beca de formación en investigación.

Diseño de portada: Giancarlos Santana, 2013

*A mis padres, Rafaela y José Ramón,
por darme la vida y sobre todo amor.*

Agradecimientos

Mi primera llegada a Barcelona fueron por motivos de un crecimiento profesional, que me empujó a apartarme de mis raíces, más allá de lo imaginado, ha sido un aprendizaje de nuevos mundos, nuevas culturas, nuevas amistades, nuevas vivencias, auto conocimiento y de decisiones. El inicio de un proyecto de investigación como lo es una tesis doctoral, trae consigo un gran esfuerzo personal y profesional, tanto del grupo de investigación como de uno mismo logrado con el apoyo de la familia y amigos.

En primer lugar quiero agradecer a Dios por todo pero sobre todo por los hermosos padres que me ha otorgado que de manera incondicional me han apoyado desde el primer día que llegue al mundo, Rafaela y José Ramón hoy soy el reflejo del gran amor que nos han dado a mí y a mis hermanos, por el esfuerzo, empuje y apoyo que siempre nos han brindado, por tratar de siempre inculcar en nuestro ser los valores que hacen y definen al ser humano y por tratar de otorgarnos siempre la mejor educación tanto a nivel profesional como personal. A ustedes agradezco enormemente la alegría que me han brindado siempre y ser mi pilar en momentos difíciles. Agradezco igualmente a María y Richard Lester, por ser mi mano derecha incondicional por el apoyo y el amor que siempre tiene para mí. A mis segundos padres Solmaria y Juan Suarez, por ser mi segundo hogar. A mis hermanos Elayne y Emmanuel por el amor y apoyo brindados. De igual forma agradezco a mi enorme familia (a todos) por ser un núcleo de apoyo incondicional y alegría.

Agradezco también al Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MESCYT) y al Gobierno de la República Dominicana por los recursos invertidos en esta investigación, por el apoyo brindado a cada dominicano en ámbitos de educación a nivel nacional e internacional.

En la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), agradezco a la Dra. Arq. Helena Coch por el apoyo y correcciones otorgadas en el momento oportuno y a su grupo de investigación los conocimientos brindados desde mi primera llegada a Barcelona. Gracias por creer en la educación y abrir sus puertas para estudiantes como yo, que buscar crecer profesionalmente en otras tierras. En especial, quiero resaltar el apoyo por parte de los miembros del grupo de investigación de AEM: Dr. Antonio Isalgue, Dra. Isabel Crespo, Arq. Gloria Serra y Arq. Elena García.

Gracias a mis tutores Dr. Jaime Roset y Dr. Francesc Navés por el apoyo brindado desde mis estudios de máster, por la motivación y disposición que siempre han tenido para mí hasta la entrega de la tesis. En especial, quiero resaltar el apoyo por parte del Arq. Julio Peña agradezco su gran apoyo y amistad, por impulsarme siempre a crecer y ser un pilar aun a la distancia, sobre todo gracias por la ayuda y conocimientos brindados. A mis compañeros Arq. Carlos López Ordoñez, Arq. Rodrigo Santamaria, Arq. Jordi Sanahuja y Arq. Badia Masoud por el apoyo en la realización de los estudios de campo.

A mis amigos de República Dominicana y de Barcelona, gracias por el amor, por ser un soporte y confianza brindada en todo momento, Mi consentido, Miarma (Brenda), Elenita, Mi Itzi (Flia)., Mi manita Helen, Mi Dani, Mi Jordi, Mi Habibi, Mi Nicola, Mónica, Grey (Shakirita), Alexander, Vivi, Giancarlos, Pedro, Guio, Wilson (Mi moi) por ser mis cómplices. A todos y cada uno de ellos gracias.

«Si supiera que el mundo se ha de acabar mañana, yo hoy aún plantaría un árbol».
Martin Luther King, Jr.

“El objetivo es utilizar el árbol como un termómetro, convertirlo en un sistema de medición de la respuesta ambiental necesaria para compensar la acción humana. “
Jordi Bigues

“Los árboles son parte de la solución contra el cambio climático, el mayor problema que hemos enfrentado nunca.”
Al Gore, Político y ecologista norteamericano. Premio Nobel de la Paz, 2007

Resumen

El espacio urbano es un elemento no sólo de tránsito, hábitat y trabajo, sino también de relación y de recreación especialmente en los climas mediterráneos y cálidos. Una herramienta del hombre para interactuar con su entorno. Pero, debido al incremento en las temperaturas provocado, entre otras razones, por el cambio climático y el decrecimiento de la vegetación en la ciudad, los espacios públicos se han convertido en lugares menos confortables.

Esta disminución gradual del confort urbano ha motivado el inicio de diversos estudios cuyo objetivo es proveer soluciones frente a esta situación que afecta directamente a la calidad de vida urbana las personas. Asimismo, la problemática antes descrita explica el desarrollo de diferentes clases de protecciones frente a las condiciones climáticas en ámbitos urbanos. De forma particular se ha comprobado que la vegetación es una excelente herramienta en lo que refiere a la protección solar.

Sin embargo, en los estudios sobre verde urbano que hasta ahora se han realizado, el valor representativo de la vegetación de determina sin tener en cuenta la estructura del árbol ni su densidad, características que inevitablemente condicionan el comportamiento de cada especie. Tampoco se ha cuantificado las aportaciones del árbol respecto al confort térmico, por ello la presente tesis se inserta dentro de esta línea de investigación.

El presente trabajo tiene objetivo principal conocer de forma cualitativa y cuantitativa el efecto de la frondosidad de una especie arbórea en el confort térmico en el micro clima urbano. La metodología se basa en mediciones in situ y modelo de cálculo, y ha sido aplicada a dos climas (Mediterráneo y Cálido húmedo).

Esta investigación busca aportar parámetros para analizar y cuantificar las características estructurales, morfológicas y de frondosidad de las especies arbóreas de uso urbano, para de esta forma identificar sus aportes al confort térmico urbano.

La tesis se desglosa en seis capítulos que permiten explicar el proceso que ha seguido la presente investigación. La investigación parte del análisis de la estructura del árbol, explicando la aportación de cada una de sus partes en el confort y la mejora del ambiente urbano.

En la primera parte, se evalúan las características que definen conceptualmente el espacio urbano, el confort térmico y la vegetación. De esta forma, se determinan las variables que principalmente influyen en el micro clima urbano.

La segunda parte, se expone la metodología de estudio de las variables de la estructura del árbol, permitiendo su caracterización en función de la frondosidad con base en un método de cálculo y fotográfico que permite la clasificación de esta en cinco categorías. Esta metodología se aplico para las mediciones in situ en Barcelona (España).

La tercera parte, expone la implementación de la metodología diseñada a tres casos de estudio en Barcelona, con tres grados frondosidad distinta. De forma que se permite la comparación

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

de los efectos producidos por la frondosidad sobre la temperatura radiante y en la radiación solar, así como su incidencia en el confort térmico.

La cuarta parte, explica la aplicación de la metodología en dos escenarios urbanos distintos: una calle y una plaza, para evaluar el efecto de las especies arbóreas en el confort térmico en relación a la morfología urbana.

En la quinta parte, se extrapola la metodología a otro clima, en este caso, el cálido húmedo en la ciudad de Santo Domingo (República Dominicana). Para ello se realizaron mediciones in situ de varias especies arbóreas. Se constata la exportabilidad de la metodología, a diversas condiciones climáticas, tipología urbana y especies arbóreas.

Finalmente, en la sexta parte, se desglosan las conclusiones obtenidas en los resultados de la investigación y su interpretación. También se presenta como resultado final unas fichas técnicas de las especies arbóreas, que se presentan como herramienta coadyuvante a la hora de determinar la idoneidad de las especies en el diseño urbano para mejorar el confort térmico y gozo del espacio urbano.

Cabe resaltar que el presente trabajo no es limitativo y propone la continuidad de la investigación a través de líneas relativas al arbolado urbano en general como herramienta de diseño.

Palabras clave: vegetación en el entorno urbano, confort térmico, temperatura radiante, arbolado urbano, clima mediterráneo, clima cálido húmedo

Abstract

Urban space is an element not only traffic, habitat and work, but also recreation relationship and especially in the Mediterranean and warmer climates. A man tool to interact with their environment. But due to the increase in temperatures caused, among other reasons, by climate change and the decline of vegetation in the city, public spaces have become less comfortable places.

This gradual decline of urban comfort has led to the start of several studies aimed at providing solutions to this situation that directly affects the quality of urban life people. Also, the above-described problem explains the development of different kinds of protections against climatic conditions in urban areas. In particular it has been found that vegetation is an excellent tool when it comes to sun protection.

However, in studies of urban green so far been made, the representative value of vegetation determines regardless of the tree structure or density, characteristics that inevitably condition the behavior of each species. Nor it has quantified the contribution of the tree with respect to thermal comfort, therefore this thesis is inserted into this line of research.

The main objective of this paper is to know of qualitative and quantitative effect of the foliage of a tree species in the thermal comfort in urban micro climate. The methodology is based on in situ measurements and model calculations, and has been applied to two climates (Mediterranean and humid warm).

This research aims to provide parameters to analyze and quantify the structural, morphological and luxuriance of tree species for urban use, to thereby identify their contributions to urban thermal comfort features.

The thesis is broken down into six chapters that explain the process followed this investigation. The research part of the analysis of the tree structure, explaining the contribution of each of its parts on comfort and improving the urban environment.

In the first part, the characteristics that define the urban space conceptually, thermal comfort and vegetation are evaluated. Thus, the variables that mainly influence the micro climate urban are determined.

The second part, the study methodology of the variables of the tree structure is exposed, allowing its characterization according to the luxuriance based on a calculation method and photographic enabling this classification into five categories. This methodology was applied for measurements in situ in Barcelona (Spain).

The third part presents the implementation of the methodology designed three case studies in Barcelona with three different degrees luxuriance. So that the comparison of the effects produced by the luxuriance of the radiant temperature and solar radiation and its impact on thermal comfort is allowed.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

The fourth part, explains the application of the methodology in two different urban scenarios: a street and a square, to evaluate the effect of tree species on thermal comfort in relation to the urban morphology.

In the fifth, the methodology is extrapolated to another climate, in this case, the hot and humid in the city of Santo Domingo (Dominican Republic). To this in situ of several tree species measurements they were performed. the exportability of the methodology is found, to various climatic conditions, urban typology and tree species.

Finally, in the sixth, the conclusions of the research results and their interpretation are broken. It also stands as a final result a technical sheets of tree species, which are presented as a tool contribute to determining the suitability of species in urban design to improve thermal comfort and joy of urban space.

Keywords: vegetation in the urban environment, thermal comfort, radiant temperature, urban trees, Mediterranean climate, warm and humid climate

Índice

Introducción	17
Justificación	18
Hipótesis.....	19
Objetivos	19
Estructura de trabajo y metodología	20
Nomenclatura.....	20
Siglas de la investigación	21
1 La vegetación en el confort urbano	25
1.1 El clima del lugar.....	25
1.1.1 Clima mediterráneo	26
1.1.2 Clima cálido y húmedo.....	27
1.2 <i>Confort térmico humano</i>	28
1.2.1 ¿Qué es el confort térmico?.....	28
1.2.2 Parámetros y factores del confort.	28
1.2.3 Evaluación del confort térmico en base al balance energético del cuerpo humano. 34	
1.3 El espacio urbano y el arbolado.	35
1.3.1 Definición del espacio público urbano.....	35
1.3.2 Caracterización de especies arbóreas.....	36
1.3.3 Especies arbóreas de uso urbano	49
1.3.4 Iniciativas a nivel mundial institucionales para incremento del arbolado urbano. 61	
1.4 Consecuencias del uso del arbolado sobre las condiciones ambientales urbanas.	64
1.4.1 Aspectos positivos	64
1.4.2 Aspectos negativos	66

2	La influencia de las especies arbóreas en la evaluación del confort humano.	69
2.1	Caracterización de la especie arbórea por su frondosidad.	69
2.1.1	Determinación de la densidad de la copa del árbol.	70
2.1.2	Determinación de la densidad de la sombra del árbol.	74
2.1.3	Caracterización de la frondosidad.	75
2.2	Repercusión de la frondosidad en el espacio público.	76
2.2.1	Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo la proyección de la copa del árbol (Zona A)	77
2.2.2	Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo la sombra (Zona B)	78
2.2.3	Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo el sol (Zona C)	78
2.2.4	Condiciones ambientales del entorno.	78
2.3	Evaluación del efecto de la especie arbórea sobre el confort humano.	79
2.3.1	Modificación del término Ra en la fórmula del Balance energético.	83
3	Casos de estudio. Barcelona, España.	89
3.1	Frondosidad ligera. <i>Parkinsonia Aculeata</i> (Parkinsonia)	89
3.1.1	Caracterización de la frondosidad	91
3.1.2	Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales	95
3.1.3	Evaluación del confort humano.	97
3.2	Frondosidad media. <i>Platanus x hispánica</i> (plátano de sombra)	99
3.2.1	Caracterización de la frondosidad	101
3.2.2	Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales	105
3.2.3	Evaluación del confort humano.	107
3.3	Frondosidad alta. <i>Quercus ilex</i> (encina)	109
3.3.1	Caracterización de la frondosidad	111
3.3.2	Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales	114
3.3.3	Evaluación del confort humano.	116

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

3.4	Comparación de frondosidades	118
4	Evaluación de la vegetación en distintos escenarios urbanos en Barcelona.	125
4.1	Cañón urbano y la vegetación.....	125
4.1.1	Análisis de una calle	126
4.2	Análisis de una plaza y la vegetación	132
4.2.1	Análisis de una plaza.	132
5	Extrapolación de la metodología a otro clima. Santo Domingo, República Dominicana.	139
5.1	Frondosidad media. <i>Delonix regia</i> (Flamboyán).....	139
5.1.1	Caracterización de la frondosidad	141
5.1.2	Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales	144
5.1.3	Evaluación del confort humano.....	145
6	Conclusiones generales	149
6.1.1	Aportes de la investigación	153
6.1.2	Futuras líneas de investigación.....	153
7	Bibliografía	157
8	Lista de ilustraciones y tablas	165
9	Anexos.....	173
9.1	Anexo 1. Modelo de cálculo del Balance Energético.....	173
9.2	Anexo 2. Tablas	179
9.3	Anexo 3. Imágenes infrarrojas.	181
9.4	Anexo 4. Mediciones in situ de las especies arbóreas.....	187
9.5	Anexo 5. Resultados del cálculo de balance energético.....	193
9.6	Anexo 6. Equipo utilizado para la obtención de datos.	197
9.7	Anexo 7. Ficha técnica de las especies arbóreas.....	207
9.8	Anexo 8. Publicaciones realizadas.....	209

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

9.8.1	Presentación en congresos.....	211
9.8.2	Artículos publicados.....	249
9.8.3	Poster presentados	279

Introducción

Introducción

El desarrollo antropológico de la sociedad muestra como el diseño urbano se ha desarrollado a través del tiempo. Cuando definimos el término ciudad, muchos lo definen como edificios, calles, aceras, asfalto, entre otros. Pero realmente las ciudades las definen los usuarios, ya que a través de sus recorridos se gestionan las vías de transporte y los espacios públicos, son los usuarios los que la final determinan que una ciudad funcione.

El espacios públicos es entonces el que le otorga vida a la ciudad, porque dependiendo la calidad de ellos, los usuarios convivirán más en los espacios exteriores que en los interiores. Nos hace cuestionarnos ¿Qué es lo que realmente hace que los espacios públicos funciones? ¿Qué hace que un espacio público atraiga a las personas a convivir en ellos? ¿Qué hace que el espacio público sea un elemento de atracción?, Amanda Burden define dos elementos la comodidad y los espacios verdes. Burden explica que los espacios públicos deben tener la cualidad de ser cómodos, porque esto atrae a personas que a su vez atraen a otras, creando un ambiente de tranquilidad y seguridad, conjugando este entorno con elementos de vegetación crean los espacios públicos idóneos para los usuario. Analizando la definición de Burden, el elemento clave de los espacios públicos es la vegetación, a través de ella creamos espacios de confort en diferentes niveles, que a su vez con una buena propuesta de diseño por parte del proyectista crea espacios que invitan a estar en ellos.

Desde este punto de vista, el interés en esta investigación es evaluar uno de los elementos que componen la vegetación urbana que es el arbolado urbano, ya que es una de las herramientas que ofrece confort a nivel térmico en los espacios urbanos. En estudios previos se ha analizado como la vegetación mejora ciertos aspectos urbanos. Pero no se han realizados muchos estudios de la variabilidad de las especies arbóreas en base al confort térmico y el micro clima urbano. Cada especie posee características diferentes, por lo que su comportamiento y aportaciones al micro clima son distintas, de aquí nace la necesidad de conocer las variables, indicadores, aportaciones de cada especies y como esta puede afectar el confort.

Por ser espacios urbanos de recorridos y de hábitat evaluaremos diferentes escenarios que nos permita estudiar diferentes puntos urbanos donde el arbolado sea uno de los componentes principales. Obteniendo como resultado final valores de calidad y cualidad de cada espacios.

Justificación

El espacio público urbano es aquel por el cual los usuarios realizan su recorrido y convivencia por la ciudad, por este motivo es uno de los elementos de estudios de esta investigación. Estos espacios deben tener la característica principal de ser cómodos y tener elementos de vegetación en ellos. Pero cada día más los espacios públicos se están convirtiendo en estos espacios que se caracterizan por ser hormigón, desolados y dar la sensación de inseguridad al no ver a otros usuarios convivir en ellos. Esto se le atribuye al dis-confort que poseen estos espacios, por este motivo los usuarios no se ven interesados en convivir en ellos.

Uno de los elementos que en muchos casos falta en espacios así es la vegetación, ¿Porque cada vez más existen espacios públicos con carencia de vegetación?, la ausencia de la vegetación crean condiciones que no aportan calidad al espacio urbano y esto se debe a las aportaciones térmicas que recibe y a la carencia de las herramientas correctas que vayan de acorde al clima donde se construye.

Los estudios ya realizados acreditan que la vegetación es una de las mejores herramientas para la mejora de calidad micro climática, ósea la mejora de espacios públicos. De esta manera el arbolado urbano se convierte en la clave principal en esta investigación. Por este motivo, es importante evaluar las condiciones climáticas que el arbolado urbano modifica, permitiéndonos conocer sus aportaciones al ambiente.

Esto nos lleva analizar que las características de cada especie arbórea como: la densidad de hojas, el tipo de ramaje, la estructura o bien la altura, ofrece diferentes aportaciones al ambiente. Si conocemos como estas características mejoran el espacio público, el diseño urbano mejoraría su calidad en cuanto a confort térmico se refiere.

Por este motivo, tener a la mano en el momento del proceso de diseño, la descripción cualitativa y cuantificación del valor climático que tiene cada elemento daría como resultado un espacio urbano de alta calidad, permitiendo de esta forma que según el clima y las características urbanas se emplee la correcta elección.

Hipótesis

El presente trabajo parte de valorar el espacio público y la convivencia del usuario en ellos. Existe una fuerte interrelación entre el arbolado urbano, el usuario y el espacio público, debido a que se produce un intercambio de transferencia de calor que influye en el confort térmico, lo cual afecta de forma positiva o negativa el entorno.

De aquí parte la hipótesis, que la *frondosidad del arbolado urbano* es la mejor herramienta para la mitigación de la temperaturas radiante superficial, creando espacios públicos confortables tanto a nivel térmico como a nivel psicológico. Por lo que una adecuada elección de una especie arbórea puede mejorar o no estos intercambios térmicos con el ambiente y crear calidad en estos espacio público. La frondosidad de cada especie arbórea es uno de los indicadores que permite caracterizar las aportaciones que puede lograr la misma en la mitigación de las aportaciones térmicas. Siendo la metodología de campo la que permite evaluar esta frondosidad y aportaciones.

A partir de las hipótesis planteadas las preguntas que guían esta investigación serán: ¿De acuerdo a la tipología de especie puede mejorar o no un espacio público? ¿Puede la densidad de verde modificar las condiciones ambientales? ¿Qué calidad de confort térmico puede ofrecer el arbolado urbano? ¿Qué cantidad de aportación de confort térmico puede ofrecer un arbolado urbano en el espacio público?

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es conocer de forma cualitativa (calidad) y cuantitativa (cantidad) el efecto de la frondosidad de una especie arbórea en el confort térmico en el micro clima urbano.

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- Caracterización de la frondosidad de las especies arbóreas y su eficacia en los espacios urbanos.
- Evaluación de diferentes tipologías de especies arbóreas en base a su frondosidad
- Realización de mediciones in situ en la ciudad de Barcelona (España) y Santo Domingo (República Dominicana)
- Modelo de cálculo de Balance Energético en los espacios urbanos seleccionado.
- Extrapolación y validación de la metodología a otro clima

Estructura de trabajo y metodología

La tesis se desglosa en seis capítulos que permiten explicar el proceso que ha seguido la presente investigación. La investigación parte del análisis de la estructura del árbol, explicando la aportación de cada una de sus partes en el confort térmico y la mejora del ambiente urbano. En la primera parte, se evalúan las características que definen conceptualmente el espacio urbano, el confort térmico y la vegetación. De esta forma, se determinan las variables que principalmente influyen en el micro clima urbano.

La segunda parte, se expone la metodología de estudio de las variables de la estructura del arbolado, permitiendo su caracterización en función de la frondosidad con base en un método de cálculo y fotográfico que permite la clasificación de esta en cinco categorías. Se realizaron doble método fotográfico del arbolado urbano permite la valoración y seguridad de los resultados obtenidos.

La tercera parte, expone la implementación de la metodología diseñada en tres casos de estudio en Barcelona, con tres grados frondosidad distinta. De forma que se permite la comparación de los efectos producidos por la frondosidad sobre la temperatura radiante y en la radiación solar, así como su incidencia en el confort térmico.

La cuarta parte, explica la aplicación de la metodología en dos escenarios urbanos distintos: una calle y una plaza, para evaluar el efecto de las especies arbóreas en el confort térmico en relación a la morfología urbana. La metodología de análisis ha sido la misma que la anteriormente explicada.

En la quinta parte, se extrapola la metodología a otro clima, en este caso, el cálido húmedo en la ciudad de Santo Domingo (República Dominicana). Para ello se realizaron mediciones in situ de varias especies arbóreas. Se constata la exportabilidad de la metodología, a diversas condiciones climáticas, tipología urbana y especies arbóreas.

Finalmente, en la sexta parte, se desglosan las conclusiones obtenidas en los resultados de la investigación y su interpretación. También se presenta como resultado final unas fichas técnicas de las especies arbóreas, que se presentan como herramienta coadyuvan a la hora de determinar la idoneidad de las especies en el diseño urbano para mejorar el confort térmico y gozo del espacio urbano.

Cabe resaltar que el presente trabajo no es limitativo y propone la continuidad de la investigación a través de líneas relativa al arbolado urbano en general como herramienta de diseño.

Nomenclatura

La nomenclatura utilizada en la investigación será la nomenclatura americana, en cuanto a valores numéricos. El punto será sustituido por la coma.

Siglas de la investigación

Para una mayor comprensión de algunas siglas importantes en esta investigación, definiremos las de mayor valor y uso:

Sigla	Interpretación	Unidades
Ta	Temperatura del aire	°C
HR	Humedad Relativa	%
V	Velocidad del viento	m/s
R	Radiación Solar	W/m ²
Tr	Temperatura radiante	°C
t	Transmisividad	s.u.
Zona A	Punto de medición bajo la copa del árbol	-
Zona B	Punto de medición bajo la sombra proyectada del árbol	-
Zona C	Punto de medición sin obstrucción ninguna	-

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

La vegetación en el confort urbano

1 La vegetación en el confort urbano

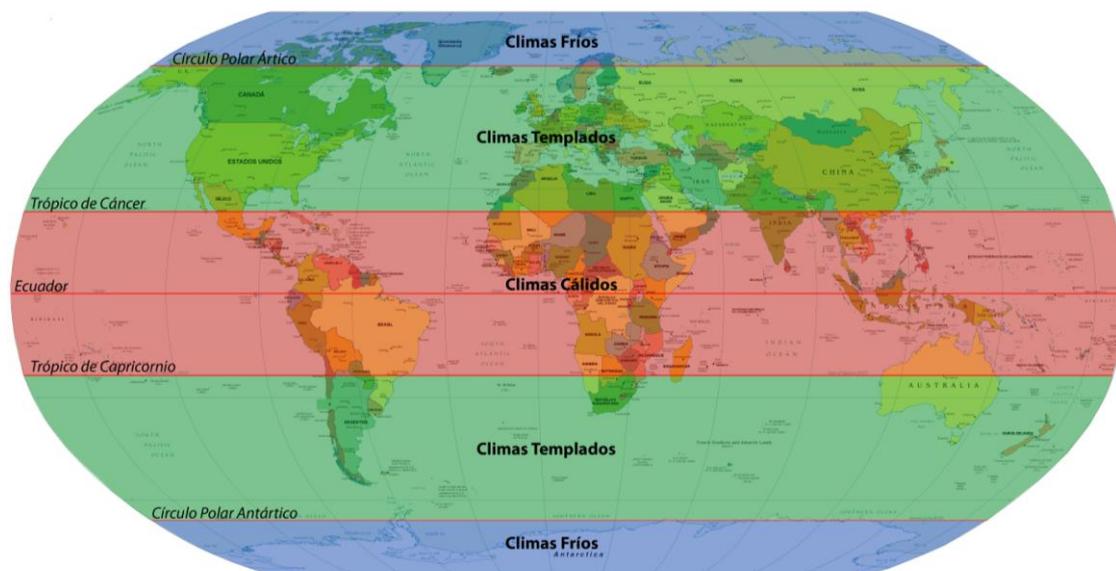
La incidencia de la vegetación sobre el micro clima urbano es un tema que se ha desarrollado a través del tiempo desde diferentes perspectivas y en diferentes contextos climáticos. Analizaremos diversos aspectos que servirán de antecedentes a la temática de esta tesis.

1.1 El clima del lugar

El clima del lugar se define por cuatro parámetros atmosféricos: la temperatura del aire, la Humedad Relativa, movimiento del viento y radiación solar (Serra 2002)(Serra Florensa y Coch 2009). La ciencia que se encarga de su estudio y predicción es la meteorología (Tipos 2016). Los climas se dividen en tres tipos: clima cálido, clima templado y clima frío (Ilustración 1). En cada uno de ellos existen varias subdivisiones:

1. Climas Cálidos: Ecuatorial, Tropical, subtropical y Desértico
2. Climas Templados: Mediterráneo, Chino, Oceánico y Continental
3. Climas Fríos: Polar y De alta montaña

Ilustración 1 Mapa Mundi de los Tipos de Climas



Fuente: Elaboración propia

Los casos de estudios para esta investigación es la ciudad de Barcelona (España) y Santo Domingo (República Dominicana), por este motivo los climas que estudiaremos para esta investigación serán el clima Mediterráneo y el Clima tropical (Cálido húmedo).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

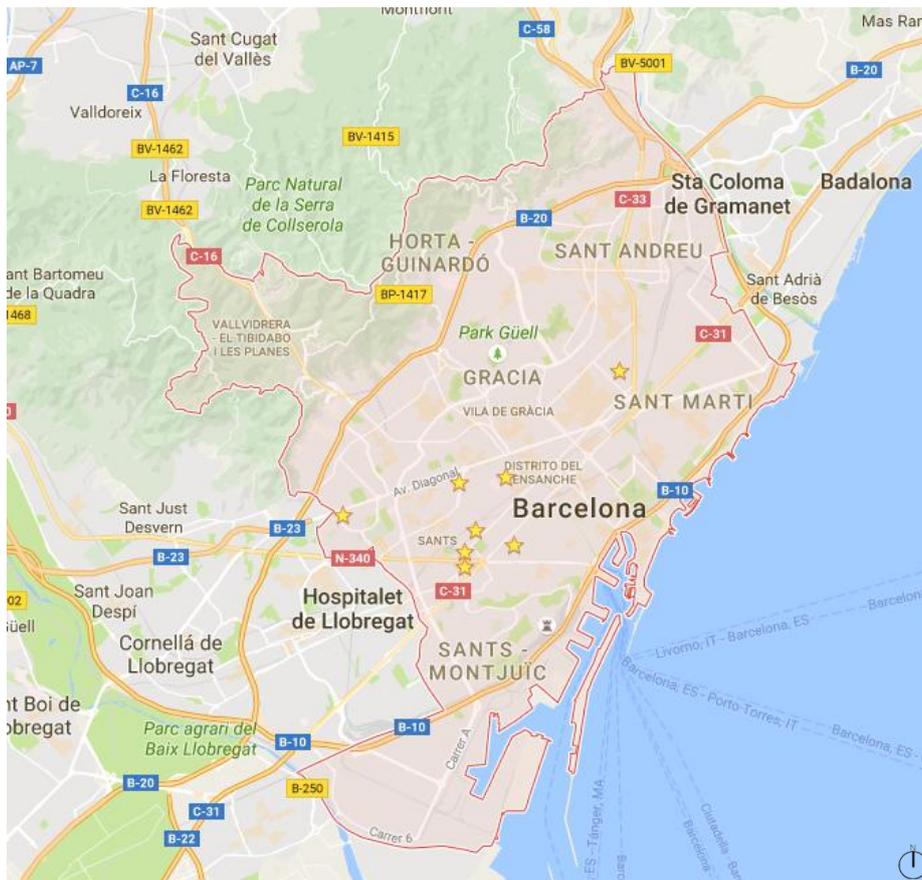
1.1.1 Clima mediterráneo

Es un clima con cambios climáticos a lo largo del año. Este clima se caracteriza por sus estaciones marcadas. A diferencia de los tropicales, existe una variación anual de la temperatura del aire, por lo que cada estación está bien delimitada (Tipos 2016).

Se caracteriza por una temperatura del aire media anual es de entre 10 y 20° C y las precipitaciones son medias 400 - 600mm. Su característica principal son veranos secos/soleados, primaveras y otoños lluvioso y templados e inviernos no muy fríos y con lluvias moderadas (Navés Viñas et al. 1995)(Navés 2005). Desde el punto de vista arquitectónico, este clima supone un reto ya que presenta los dos escenarios extremos (frio en invierno y calor en verano) y en ambas estaciones puede ser seco o húmedo. Sin embargo, en las estaciones intermedias puede presentar variaciones de frio o calor por periodos cortos (Serra 2002)(Serra Florensa y Coch 2009).

El caso de estudio seleccionado para este tipo de clima es la ciudad de Barcelona (España), localizada en el continente Europeo. La misma está ubicada en la latitud 41°23'N y una longitud de 02°09'E. Delimitada por la provincia de Gerona al norte, la provincia de Lérida al Oeste y el mar mediterráneo al sur y este. El caso de estudio será el municipio de Barcelona que es el área delimitada en la ilustración 2.

Ilustración 2 Localización de la ciudad de Barcelona, España



Fuente: Google Maps

1.2 Confort térmico humano

1.2.1 ¿Qué es el confort térmico?

El confort térmico es un concepto subjetivo que varía según el historial climático y psicológico de cada persona. La ASHRAE define el confort térmico como “la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ASHRAE 1989). Podemos interpretar esta definición como el bienestar físico y psicológico de una persona siendo las condiciones del entorno climático y perceptual las que influyen en él.

Los primeros estudios realizados sobre el confort térmico se enfocaron en la evaluación del confort térmico interior. Baruch Givoni (Givoni 1969), el pionero en el tema, en el 1969 publicó un libro que aun hoy día aporta un gran número de conocimientos. En el mismo se desglosaron alguno de los primeros aportes de como evaluar el confort térmico humano.

En el 1972, Povl Ole Fanger (Fanger 1972) estudió el confort térmico y la influencia de las condiciones climáticas en interiores de los edificios. Dando como resultado el Balance Térmico, que se define a través de dos indicadores el PMV (Predictive Mean Vote¹) y PPD (Predictive Percentage Dissatisfied²) (Fanger 1972; Godoy Muñoz 2012).

Los estudios realizados por B. Givoni y P. O. Fanger han sido la base para los actuales modelos de estudios del confort en interior de los edificios y en el exterior (Dear, Ring y Fanger 1993) (Ochoa de la Torre 1999) (Ochoa de la Torre y Scudo 2003) (Spagnolo y de Dear 2003) (Ochoa de la Torre 2009).

Uno de los primeros estudios realizados sobre el confort en espacios exteriores lo realizó Ochoa de la Torre en su tesis doctoral en el año 1999. A través de la cual desarrollo un modelo denominado el Balance Energético (B.E.). El B.E. lo define como el balance del intercambio de energía del cuerpo humano con el ambiente. (Ochoa de la Torre 1999) (Ochoa de la Torre 2009). Este modelo está basado en los estudios de P. O. Fanger (Fanger 1972), H. Mayer (Mayer y Höpfe 1987), J. E. Burt (Burt 1982), R. D. Brown (Brown 1986), T. J. Gillespie (Brown y Gillespie 1995) y Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999). Característica principal de este modelo es que permite analizar el confort térmico de una persona en un espacio urbano.

Este modelo será una de las herramientas a utilizar para lograr los objetivos de esta investigación, ya que permite conocer el estado de intercambio energético de una persona en espacios exteriores siendo la vegetación un elemento clave del cálculo.

1.2.2 Parámetros y factores del confort.

El confort térmico está condicionado por varios parámetros y factores, Ochoa de la Torre los define en la Tabla 1. Los parámetros de confort térmico se definen por los aspectos físicos del lugar, los cuales se dividen en ambientales y materiales. Los factores de confort térmico se definen por las características del sujeto y de configuración espacial arquitectónica (Serra Florensa y Coch 2009) (Ochoa de la Torre 1999).

¹ En español es el Voto Promedio Previsto.

² En español es el Porcentaje Previsto de Insatisfechos

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 1 Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico.

Parámetros de confort		Factores de confort				
Ambientales	Materiales	Fisiológicos	Cognitivos	Arquitectónicos		
Temperatura del aire	Reflectividad	Género	Aclimatación	Movilidad del sujeto		
Humedad relativa	Absortividad	Edad	Vestimenta	Dimensiones y proporciones del espacio		
Velocidad del viento	Transmisividad	Constitución corporal	Expectativas de confort	Dispositivos de control pasivos		
Radiación solar	Conductividad Térmica	Actividad	Conocimiento del clima	Dispositivos de control activos		
Temperatura radiante	Emisividad	Estado de salud	Conocimiento del entorno			
	Capacitancia	Historial térmico				
		Tiempo de permanencia				

Fuente: *Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos*

Para esta investigación los parámetros y factores de confort térmico que evaluaremos serán los expuestos en la Tabla 2. El enfoque principal de la investigación serán las mediciones in-situ de los parámetros ambientales. Dentro del cálculo del balance energético se evaluarán los parámetros materiales, factores fisiológicos, cognitivos y arquitectónicos.

Tabla 2 Parámetros y factores de confort de la investigación.

Parámetros de confort		Factores de confort		
Ambientales	Materiales	Fisiológicos	Cognitivos	Arquitectónicos
Temperatura del aire				
Humedad relativa			Vestimenta	Dimensiones y proporciones del espacio
Velocidad del viento		Constitución corporal		
Radiación solar		Actividad		
Temperatura radiante	Emisividad			
		Historial térmico		
		Tiempo de permanencia		

Fuente: Editado con base en *Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos*

Seleccionados los parámetros y factores de confort térmico que evaluaremos, a continuación se desarrollarán la conceptualización de cada uno, para una mayor comprensión de la investigación.

Parámetros del confort térmico

Parámetros ambientales

a. Temperatura del aire

La temperatura del aire (T_a) es aquella que envuelve el cuerpo y regula la cesión de calor por conducción, convección y por respiración (Serra Florensa y Coch 2009). Por este motivo es uno de los elementos principales que afecta el confort térmico. Su unidad de medida es el grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Desde el punto de vista de la vegetación se han realizado estudios sobre la influencia de la vegetación en la T_a . Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999) en el 1999, concluyó en su investigación que la Temperatura del aire (T_a) no es afectada por la vegetación. Esto ocurre debido a que todo es un mismo entorno (Rojas Cortorreal, Roset y Navés 2013) y que la velocidad del viento renueva constantemente el espacio, por lo que el cambio que podría crear la vegetación no es perceptible de forma inmediata.

Si analizamos ese punto pero desde la perspectiva de una cantidad más grande de vegetación en el espacio urbano como parques con gran densidad de árboles, se han registrado promedio de temperatura mucho más bajos (Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988), (Carrasco Aldunate 2008) y (Tumini 2012). Esta gran densidad de vegetación constituye en muchos países el “pulmón de la ciudad”.

b. Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire (HR) es la encargada de modificar las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con la respiración (Serra Florensa y Coch 2009). Su unidad de medida es en porcentaje (%).

Se conoce que la vegetación logra aportaciones de humedad al ambiente urbano (Gómez-Muñoz, Porta-Gándara y Fernández 2010)(Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988). Pero debido a la constante renovación de aire esta no se percibe. Si se conjugan en el espacio árboles y fuentes (Robitu et al. 2006), dependiendo el tipo de clima, esto puede mejorar las condiciones de confort o no. Por otra parte, si la densidad de arbolado es alta esta humedad se percibe a mayor escala.

c. Velocidad del viento

La velocidad del viento (V) influye en las disipaciones que se crean a través de la convección y en la velocidad de la evaporación de la transpiración (Serra Florensa y Coch 2009). Su unidad de medida es en metro por segundo (m/s). En ámbitos urbanos los estudios realizados han demostrado que las irregularidades en las alturas de los edificios permiten una mayor ventilación (Carrasco Aldunate 2008) en el cañón urbano. Por otra parte, la vegetación es una herramienta de control del viento, ofreciendo obstrucción, filtración, deflexión, dirección y disminución de velocidad (Ochoa de la Torre 1999).

d. Radiación solar incidente

La radiación solar incidente (R) es la energía solar recibida proveniente del sol en forma de radiación electromagnéticas. Su unidad es la irradiación que es la potencia por unidad de superficie. Es un factor y característica macro climática en la que la dirección de incidencia de la radiación depende del movimiento relativo de la tierra y el sol (Serra Florensa y Coch 2009). Su unidad de medida es el Watio metro cuadrado (W/m^2).

Uno de los principales aspectos de la climatología urbana que es afectado por la vegetación es la radiación solar incidente, constituyéndose como el elemento de obstrucción. Varios investigadores Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999), Picot (Picot 2004), Robitu et al. (Robitu et al. 2006), Cantón y Fernández (Cantón y Fernández Llano 2007), Carrasco (Carrasco Aldunate 2008), Correa, Ruiz y Cantón (Correa, Ruiz y Cantón 2010) y Makaremi et al. (Makaremi et al. 2012) concluyeron que la vegetación es una herramienta de control climático, debido a la obstrucción que esta genera en la morfología urbana (superficies y al usuario) se ven menos afectados por las aportaciones directa de la radiación solar. Logrando grandes valores de diferencia de Temperatura radiante (T_r), radiación reflejada y el dis-confort visual.

En este parámetro la pregunta de investigación sería ¿Hasta qué niveles cualitativos y cuantitativos puede el volumen de verde disminuir aportaciones radiactivas? ¿Puede la morfología de la especie ser un factor que influye en esta disminución?

e. Temperatura radiante

La temperatura radiante media (T_r) ponderada de las superficies que envuelven el cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes (Serra Florensa y Coch 2009). La temperatura radiante que evaluaremos en esta investigación será la emitida por el suelo, que es la más afectada por la sombra proyectada de la vegetación. Su unidad de medida es el grado Celsius ($^{\circ}C$).

El rol que juegan las superficies urbanas en el confort térmico es debido a las aportaciones que ésta ofrece al ambiente. A través de la Temperatura radiante (T_r) y radiación solar reflejada. La vegetación entra como elemento que aporta sombra para la protección de estas superficies (Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988).

Aquí entra en juego la importancia de las decisiones del arquitecto en cuanto a que tipo de superficie utilizará en el espacio urbano. Alchapar, Correa y Cantón (Alchapar, Correa y Cantón 2010) estudiaron el comportamiento de los pavimentos en el espacio urbano, concluyendo que las características del mismo afectan significativamente el balance energético y el comportamiento térmico de cada material.

Por esto, varios investigadores recomiendan la utilización de vegetación como elemento de protección urbana, así como también el aumento uso de pavimentos porosos como los vegetales (Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988; Ochoa de la Torre 1999; Carrasco Aldunate 2008; Armson, Stringer y Ennos 2012; Rojas Cortorreal, Roset y Navés 2013). Concluyendo que la temperatura radiante es uno de los factores que definen el confort térmico micro climático.

Tras un análisis general podemos observar las propiedades de la vegetación en ámbitos urbanos y el confort térmico del espacio. Siendo como muchos la definen una herramienta de

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

obstrucción de la radiación solar y que la misma debe ser considerada como un elemento activo (Picot 2004; Correa, Ruiz y Cantón 2010; Gómez-Muñoz, Porta-Gándara y Fernández 2010; Abreu, Labaki y Matzarakis 2012; Tumini 2012; Rojas Cortorreal, Roset y Navés 2013; Yahia y Johansson 2014; Lehmann et al. 2014)

Por otro lado, cabe señalar que la vegetación se ve a su vez afectada por la densidad edilicia (Ochoa de la Torre 2009). Su desempeño no es el mismo que en un ambiente más rural por la reducción de los elementos naturales que ella necesita para su desarrollo. Desde este punto nace la importancia del estudio de la vegetación en ámbitos urbanos, las aportaciones que ésta ofrece y de igual forma, cómo la edificación afecta a la misma.

Algunos estudios demuestran que para mitigar el estrés por calor a través de la vegetación influyen su densidad y geometría (Ali-Toudert y Mayer 2007). La estructura de la vegetación es, por tanto, uno de los elementos que definen su comportamiento y aportaciones, y constituye un punto clave de estudio en la influencia de la vegetación al nivel urbano y cómo la edificación afecta esta fisiología. Dotar al concepto arbolado de parámetros evaluables es uno de los retos de este trabajo.

Parámetros materiales

a. Emisividad

La emisividad o emitancia es la propiedad que tiene un cuerpo o superficie de emitir una proporción de radiación térmica en base a su temperatura. Esta emisividad de los objetos y superficies urbanas se encuentran en torno a un valor de 0.90 (Ochoa de la Torre 2009).

Factores de confort

Fisiológicos

a. Constitución corporal

La constitución corporal se define como las características fisiológicas del cuerpo. Para la evaluación del balance de energético utilizaremos el metabolismo y el color de piel.

El metabolismo nos permite conocer la cantidad de calor perdido a través de la respiración y de la piel. El color de piel nos permite conocer la cantidad de calor absorbido y emitido, la cual varía según el tipo de piel. Los valores dados para cada tipo son raza blanca es 0.35 (35%), para la raza media 0.37 (37%) y para raza negra 0.18 (18%) (Ochoa de la Torre 1999, 2009).

b. Actividad

La actividad realizada por el usuario define el calor metabólico generado por el cuerpo. Para cada actividad existe un valor dado, este es incluido en el cálculo del balance energético permitiendo conocer el intercambio de creado por la actividad dada (Ver Tabla 3) (Ochoa de la Torre 2009).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Tabla 3 Calor metabólico generado por algunas actividades al aire libre

Actividad	Mg (W/m ²)
Durmiendo	50
Descansando	60
Sentado / de pie	90
Trabajando en una mesa o conduciendo	95
De pie, trabajando ligero	120
Caminando lentamente (4km/h)	180
Caminando moderadamente (5.5 km/h)	250
Actividad intensa intermitente	600

Fuente: Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos

c. Historial térmico

El historial térmico se define como la adaptación térmica del cuerpo, que ha aprendido por relacionarse a un entorno climático inmediato dado. Dependiendo la procedencia climática de una persona, esta puede sentir calor, confort o frío en un ambiente determinado. Esta variable debe considerarse en los resultados arrojados por el balance energético, ya que al ser un modelo de cálculo no toma en cuenta ciertos puntos de percepción de un usuario.

d. Tiempo de permanencia

El tiempo de permanencia es la cantidad de tiempo que una persona está en un lugar determinado. Para el modelo de cálculo y para las mediciones in situ se consideraron mediciones puntuales en tres horas en el transcurso del día. Se estima un usuario que está caminando lentamente.

Cognitivos

a. Vestimenta

La vestimenta utilizada por el usuario determina el intercambio que éste puede tener con su ambiente y, al mismo tiempo el calor que pueda guardar en dado caso. La variable a evaluar sería la permeabilidad y aislamiento de la ropa (Tabla 4) (Ochoa de la Torre 2009).

Tabla 4 Valores de permeabilidad y aislamiento de algunos conjuntos usuales de ropa

Ropa	r _{co} (m ² °C/W)	P (mm/s)
Camiseta, pantalones cortos, calcetines, zapatillas deportivas	50	175
Polo, pantalones largos, calcetines, zapatos o botas	75	150
Polo, pantalones largos, calcetines, zapatos, anorak	100	100
Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, anorak	125	65
Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, suéter	175	125
Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, suéter, anorak	200	50

Fuente: Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos

Arquitectónicos

a. Dimensiones y proporciones del espacio

Los elementos arquitectónicos que intervienen en un espacio urbano es la geometría de la calle, elementos de protección y el tipo de material urbano. En esta variable se toma en cuenta la geometría del espacio urbano, para su evaluación se utilizara el Sky View Factor³ (SVF) el cual relaciona la proporción de altura y ancho para de esta forma conocer qué cantidad de proporción de cielo es visible.

1.2.3 Evaluación del confort térmico en base al balance energético del cuerpo humano.

El balance Energético es el intercambio de energía del cuerpo humano con su ambiente inmediato. A través de este modelo se puede estimar el comportamiento de este intercambio de manera que nos permita deducir el confort térmico que siente una persona al exterior (Anexo 1. Modelo de cálculo del Balance Energético.) (Ilustración 4). Este cálculo se resume en la siguiente fórmula:

$$B = M + R_a \pm C - E - R_e$$

Donde:

M es el calor metabólico liberado por una persona.

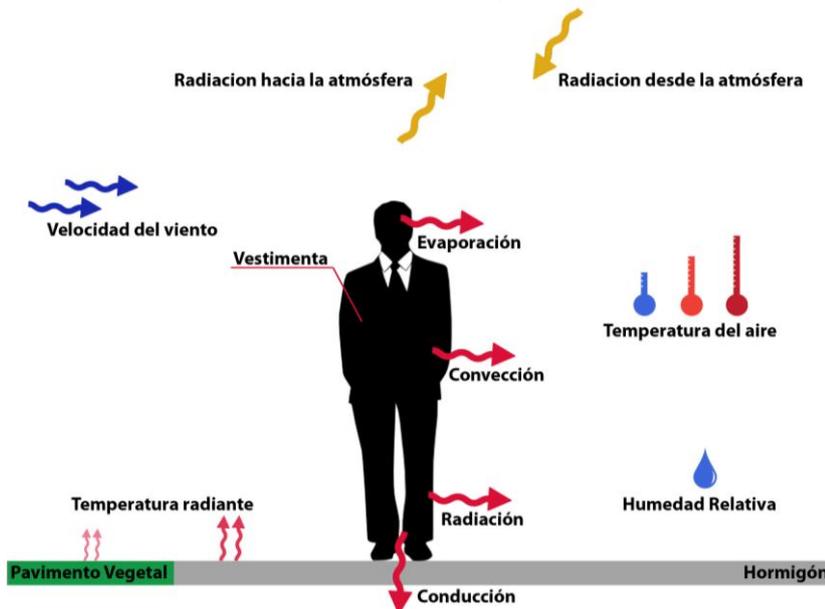
R_a es la radiación solar y de onda larga absorbida

C es el calor sensible perdido o ganado por la convección (C es positivo si se pierde)

E es el calor perdido por evaporación

R_e es la radiación de onda larga emitida

Ilustración 4 Intercambio térmico del cuerpo humano con su entorno



Fuente: Elaboración propia.

³ Sky View Factor en ingles, traducido al español Factor de Vista de Cielo.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Este modelo proporciona resultados en W/m^2 , representando las pérdidas y ganancias que puede tener el cuerpo en un ambiente determinado. De esta manera conocer el estado de confort térmico del cuerpo. La interpretación de los resultados obtenidos (Ochoa de la Torre 2009) se resumen en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5 Interpretación del intercambio de energía de una persona al exterior

Balance energético	SCE	Interpretación
$250 < B$	-3	Muy caluroso
$150 < B < 250$	-2	Caluroso
$50 < B < 150$	-1	Ligeramente caluroso
$-50 < B < 50$	0	Confort
$-150 < B < -50$	1	Ligeramente frío
$-250 < B < -150$	2	Frío
$B < -250$	3	Muy frío

Fuente: Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos

1.3 El espacio urbano y el arbolado.

1.3.1 Definición del espacio público urbano.

El espacio urbano se define como el espacio al aire libre que se encuentra entre edificaciones. Estos espacios permiten la comunicación e interacción social entre las personas de una ciudad determinada.

La delimitación de estos espacios urbanos son las edificaciones y barreras físicas naturales (mar, ríos, relieves, topográficos, etc.). Estos espacios urbanos pueden ser públicos, semi privados y privados (Palomares 2011). Los espacios urbanos de uso público son aquellos donde las personas pueden acceder en todo momento a ellos. Los espacios urbanos semi privados son aquellos espacios que tiene un acceso delimitado por un horario o permiso. Los espacios privados son los que mantienen un acceso restringido de uso exclusivo por los propietarios.

Para esta investigación nos centraremos en el espacio público, ya que es el espacio donde las personas tienen mayor libertad de acceso y, por este motivo, es el de mayor valor para estudios urbanos. Existen diferentes tipos de espacios urbanos públicos, dentro de ellos cabría destacar: las calles, las plazas, los parques, los jardines, puentes, etc. Para esta investigación el espacio que evaluaremos serán la calle y la plaza, ya que constituyen los espacios de mayor uso urbano por las personas lográndose en ellas la mayor convivencia entre los usuarios.

La calle

La calle se define como el espacio lineal que permite el tránsito y la comunicación de diferentes zonas en ámbito urbano que está delimitado por dos barreras edificatorias o naturales. Su uso puede ser público y privado, permitiendo que el espacio pase hacer un espacio multifuncional y de interacción social. Las calles tienen varios tipos de movilidad como peatonal, bicicletas y vehicular. La proporción y ancho de una calle varía en base a la altura de

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

las edificaciones y ancho de la vía. Otros elementos adicionales que pueden configurar una calle son la vegetación, mobiliario urbano e iluminarias.

El diseño urbano de una calle hará que sea dinámica será diferente, y el atractivo que ella misma posea. Una calle conjugada con plazas, comercios, parques entre otros invita a la interacción de los usuarios del entorno. Sin embargo, una calle rodeada de viviendas y oficinas invita a otro tipo de actividades. Por estos motivos la calle se convierte en la estructura urbana de una ciudad.

La Plaza

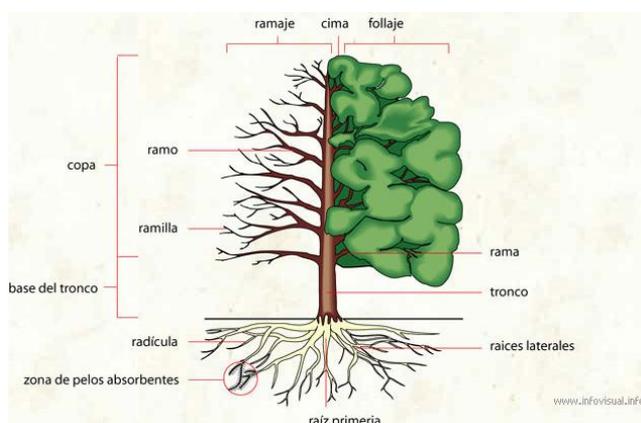
La plaza se define como un espacio abierto diseñado para el tránsito, el encuentro y esparcimiento entre las personas que viven o pasean en una zona determinada. Por ser un área de recreación de los usuarios de su entorno, su carácter se define por las actividades de estas personas, dando como resultado una variedad de actividades y usos. Su forma y dimensiones pueden variar según su entorno inmediato, por lo que cada plaza tiene sus características que la definen como un espacio especial. Algunas plazas son el resultado de espacios residuales, definiéndose como un espacio con diseño irregular.

La ocupación de una plaza no depende de sus dimensiones o forma, si no por el grado de identificación de los usuarios de su entorno, además de la diversidad de elementos que permita variedad de actividades, como: jardines, fuentes, kioscos, bancos, monumentos, juego de niños, áreas de ejercicios entre otras. La variedad de uso en una plaza incita a la participación, comunidad y pertenencia de los habitantes. La plaza tiene la función de articular la vida urbana, convirtiéndose por este motivo en una zona urbana privilegiada de la ciudad.

1.3.2 Caracterización de especies arbóreas

Dentro de la vegetación urbana analizaremos el árbol como su elemento más importante y generador de confort térmico en espacios urbanos.

Ilustración 5 Anatomía de un árbol



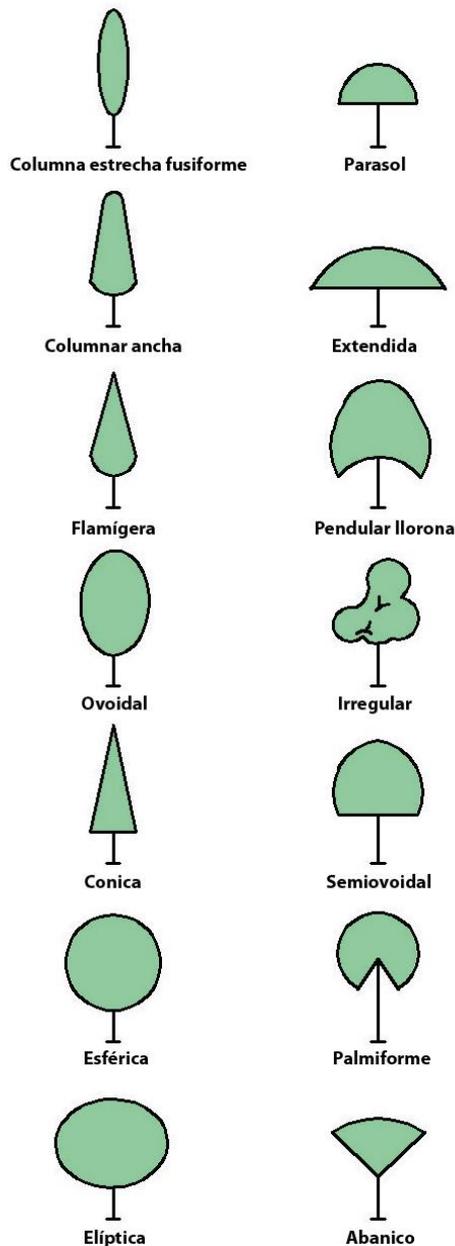
Fuente: El Diccionario Visual

El árbol se define como una planta compuesta por un tronco grueso y elevado, que se ramifica a cierta altura según la tipología de la especie formando la copa del árbol. El árbol está anatómicamente compuesto por la copa, la base del tronco y las raíces. La copa está compuesta por el ramaje y el follaje (Ilustración 5).

Para la evaluación de las especies arbóreas en esta investigación, el elemento a evaluar será la forma de la copa del árbol que es la que condiciona la sombra proyectada. Para lograr esta evaluación se utilizará la metodología implementada por el Dr. Navés, que ha realizado estudios previos sobre vegetación, clasificando sus características y elementos (Navés Viñas et al. 1995)(Navés 2005). Para este estudio nos centraremos en las características de estructura y de morfología del arbolado.

Características Estructurales de forma de un árbol

Ilustración 6 Características estructurales de la forma del árbol.



Fuente: *El árbol en jardinería y paisajismo*

Las características estructurales se definen como la forma que crea el contorno en general de la copa del árbol, estas se dividen en tres: estructura de forma, estructura de ramaje y densidad del ramaje.

Estructura de forma

La forma de la copa del árbol se define como el contorno que la misma crea por su ramaje y densidad. Estas formas Navés la clasifica en quince (15) categorías (Ilustración 6 e Ilustración 7).

La forma del árbol se determina por la composición del ramaje en estado natural, pero en espacios urbanos está estrechamente ligada a la forma de la poda, que según el tipo de uso del espacio se hace para controlar el crecimiento del árbol.

Ilustración 7 Forma de una árbol



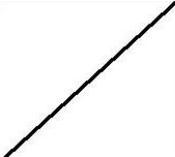
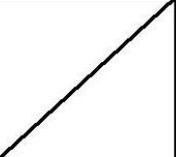
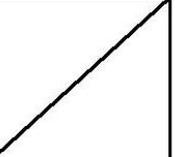
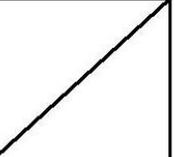
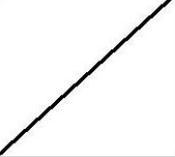
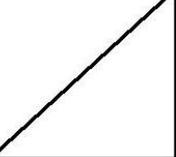
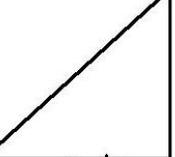
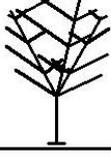
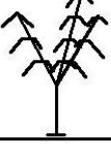
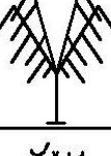
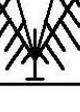
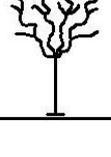
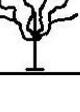
Fuente: *Elaboración propia.*

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Estructura de ramaje

El ramaje se define por las ramas principales que salen del tronco del árbol. Es uno de los factores que definen la forma del mismo, se puede notar en épocas de invierno en los árboles *caducifolios* (Ilustración 8).

Ilustración 8 Características estructurales del ramaje del árbol.

Forma del tronco	Principal recto	Principal que se bifurca	Principal que se bifurca a ras del suelo	Principal irregular
Ascendente				
Recogida				
Escalar				
Expandida				
Colgante				
Caída				
Tortuosa				

Fuente: *El árbol en jardinería y paisajismo*

Según Navés, la estructura del ramaje se clasifica en siete (7) categorías:

-Estructura de ramaje ascendente la cual se define por la forma fusiforme.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

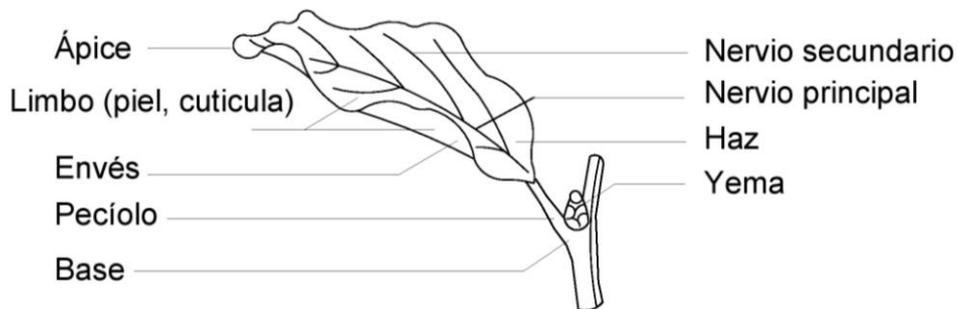
- Estructura de ramaje recogida se define por la forma ovoidal.
- Estructura de ramaje escalar se define por la forma piramidal.
- Estructura de ramaje expandida se define por la forma esférica y elíptica.
- Estructura de ramaje colgante se define por la forma colgante.
- Estructura de ramaje caída se define por la forma llorona.
- Estructura de ramaje tortuosa se define por la forma irregular.

Características morfología vegetal

Las características morfológicas de la vegetación se definen por el tipo de hoja y las características que la conforman. La hoja es la parte de la planta donde se realiza la fotosíntesis y la respiración de las plantas.

Es la parte terminal del árbol, que tiene como objetivo durante el día captar CO₂ del aire para foto sintetizarlo y en la noche capta oxígeno para respirar, elimina el exceso de agua a través de las estomas y al mismo tiempo transpira para que la savia ascienda por el xilema. La morfología de una hoja se define en el siguiente gráfico:

Ilustración 9 Morfología de la hoja.



Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

Para lograr definir la tipología de hoja de una especie arbórea utilizaremos los estudios realizados por el Dr. Navés, en su libro *El Árbol en Jardinería y Paisajismo* (Navés Viñas et al. 1995).

Tipo de hoja

Navés define en siete puntos para poder definir su tipología y su forma: Inserción de hoja, forma de nerviación, forma del limbo, forma del borde del limbo, forma del ápice del limbo, Unión de la base del limbo con el pecíolo y longitud del pecíolo. Para esta investigación solo nos centraremos en desglosar alguna de ellas.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Inserción de la hoja: esta se define por tres categorías, y es la forma en que la hoja se inserta en las ramas del árbol.

Ilustración 10 Tipos de inserción de las hojas en las ramas del árbol.

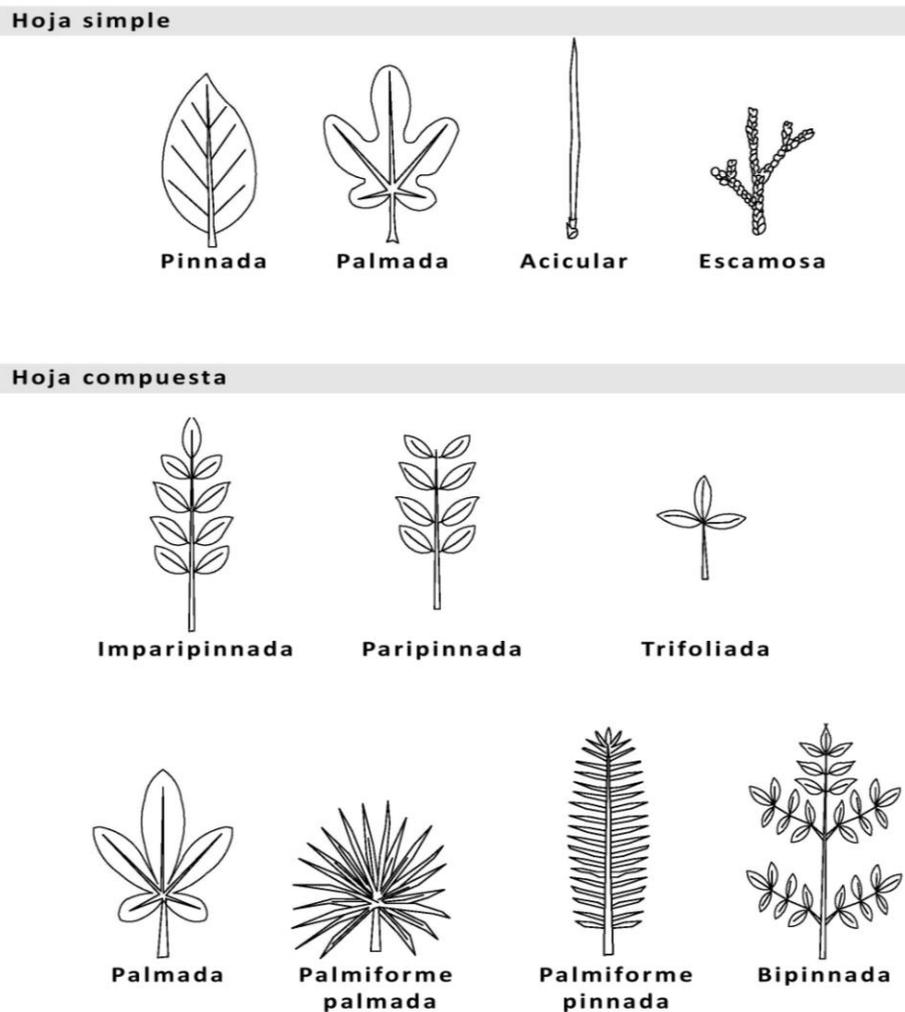


Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

Las hojas pueden ser simples o compuestas.

La nerviación: forma de la estructura de la hoja. Se divide en dos tipos simples o compuestas que a su vez tiene sub divisiones dentro de su propia tipología.

Ilustración 11 Tipos de hojas y nerviación de hojas.

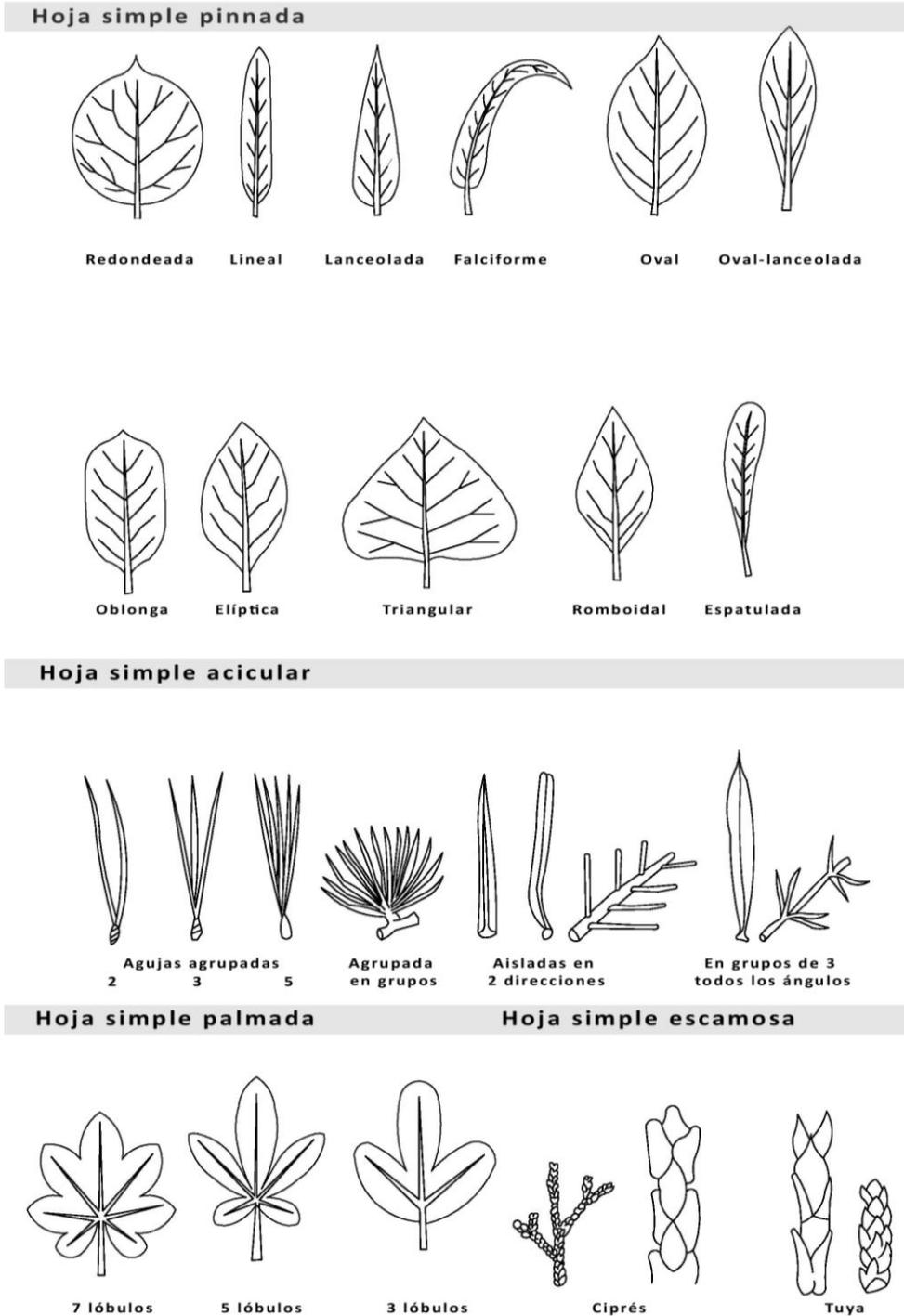


Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Forma del limbo: es la forma de la hoja que define sus dimensiones. Estas se dividen en hojas simples pinnadas, hoja simple acicular, hoja simple palmada y hoja simple escamosa, dentro de estas divisiones existen otras subdivisiones que definen más sus características (Ilustración 12).

Ilustración 12 Forma del limbo.

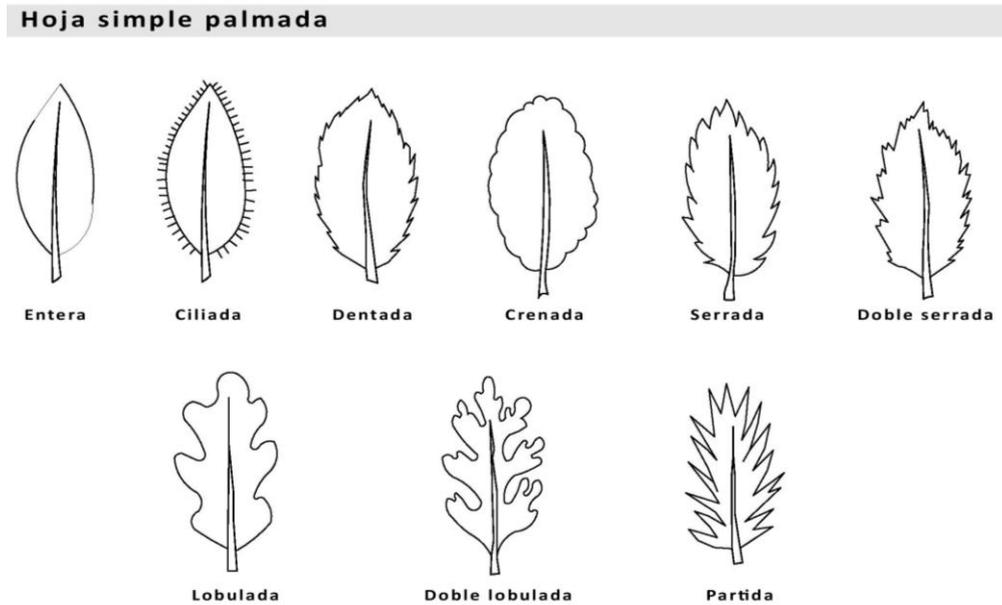


Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Forma del borde del limbo: es el contorno que de la hoja que define el límite de la forma del limbo. Esta categoría se divide en nueve tipología de bordes (Ilustración 13).

Ilustración 13 Forma del borde del limbo.

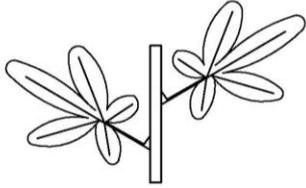


Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

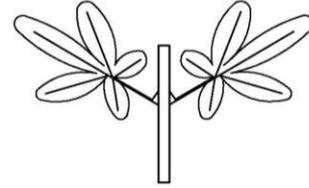
Estas características de definen como un resultado final esquemático que nos permite categorizar las tipología de las hojas de los árboles, permitiendo de esta forma evaluar más concretamente su frondosidad. Esta tipología será la implementada para la evaluación de la tipología de hoja de cada especie. Ver Ilustración 14 Tipologías de hojas.

Ilustración 14 Tipologías de hojas

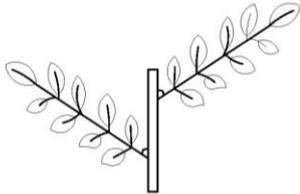
Latifolios



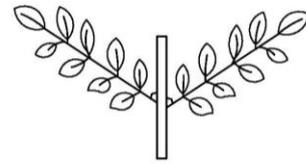
Alternas compuestas palmadas



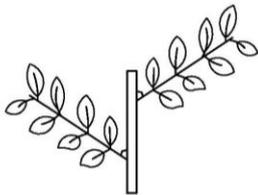
Opuestas compuestas palmadas



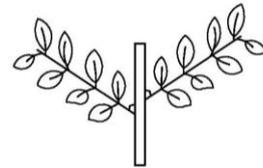
**Alternas compuestas pinnadas
imparipinnadas enteras**



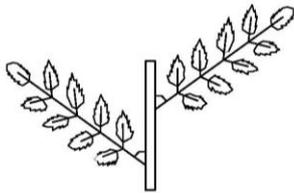
**Opuestas compuestas pinnadas
imparipinnadas enteras**



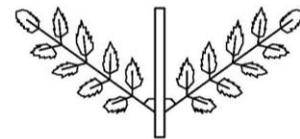
**Alternas compuestas pinnadas
paripinnadas enteras**



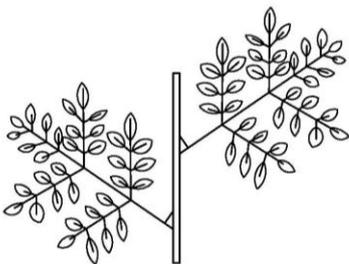
**Opuestas compuestas pinnadas
paripinnadas enteras**



**Alternas compuestas pinnadas
imparipinnadas dentadas**



**Opuestas compuestas pinnadas
imparipinnadas dentadas**



Alternas compuestas bipinnadas

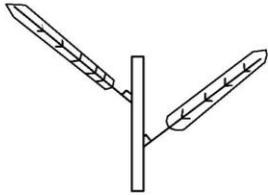


**Alternas compuestas pinnadas
trifoliadas enteras**

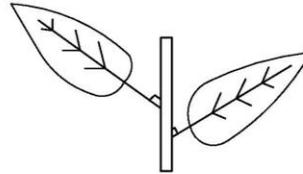
Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

Ilustración 15 Tipologías de hojas (continuación)

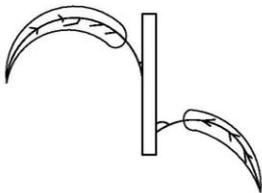
Latifolios (continuación)



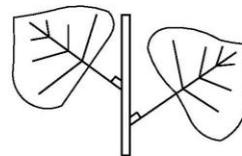
**Alternas simples pinnadas
lineales enteras**



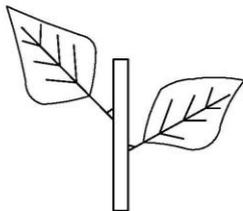
**Alternas simples pinnadas
lanceoladas enteras**



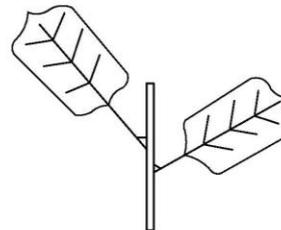
**Alternas simples pinnadas
falciformes enteras**



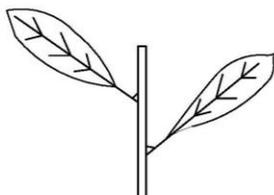
**Alternas simples pinnadas
triangulares enteras**



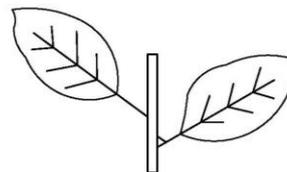
**Alternas simples pinnadas
romboidales enteras**



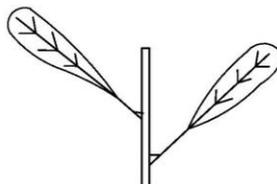
**Alternas simples pinnadas
oblongas enteras**



**Alternas simples pinnadas
oval-lanceoladas enteras**



**Alternas simples pinnadas
elípticas enteras**

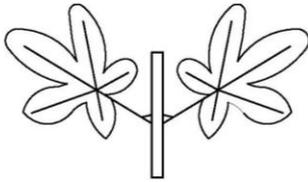


**Alternas simples pinnadas
espatuladas enteras**

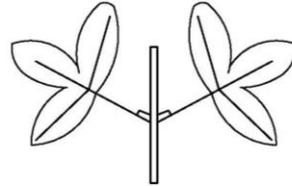
Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

Ilustración 16 Tipologías de hojas (continuación).

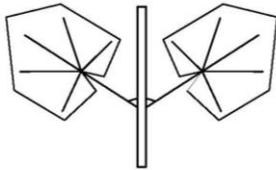
Latifolios (continuación)



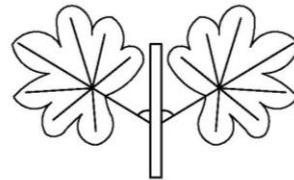
**Opuestas simples palmadas
pentalobuladas**



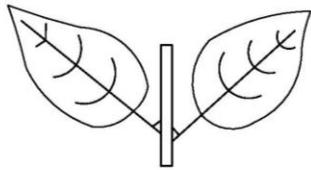
**Opuestas simples palmadas
trilobuladas**



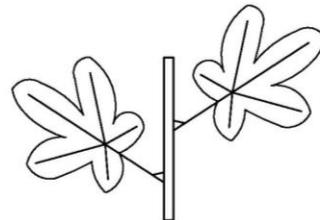
**Opuestas simples palmadas
no lobuladas**



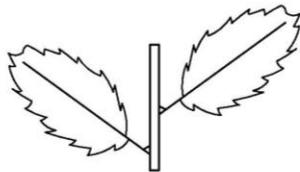
**Opuestas simples palmadas
heptalobuladas**



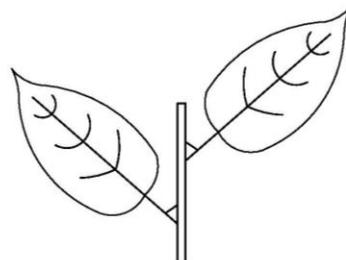
**Opuestas simples pinnadas
oval enteras**



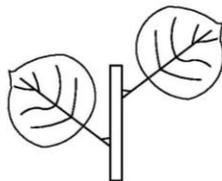
**Opuestas simples palmadas
pentalobuladas**



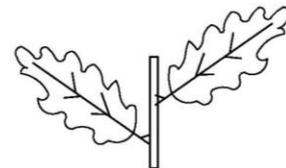
**Alternas simples pinnadas
oval dentadas**



**Alternas simples pinnadas
oval enteras**



**Alternas simples pinnadas
redondeadas enteras**

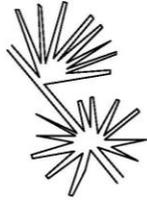


**Alternas simples pinnadas
lobuladas**

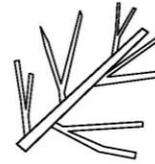
Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

Ilustración 17 Tipologías de hojas (continuación).

Coníferas



**Simples aciculares
agrupadas en brocha**



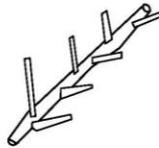
**Simples aciculares
agrupadas en 2**



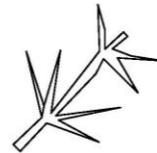
**Simples aciculares
agrupadas en 3**



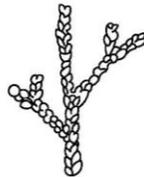
**Simples aciculares
agrupadas en 5**



**Simples aciculares aisladas
en 2 direcciones**

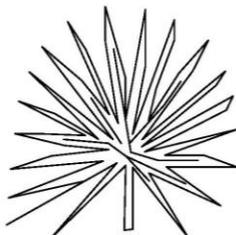


**Simples aciculares agrupadas
en 3 en todos los ángulos**

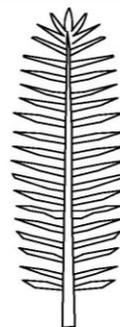


Simples escamosas triangulares

Palmáceas



**Compuesta palmiforme
palmada**



**Compuesta palmiforme
pinnada**

Fuente: El Árbol en Jardinería y Paisajismo (Navés Viñas et al. 1995).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Color y textura

El color de las hojas de los árboles según su tipología varía en base a la estación del año, por lo que un mismo color verde puede lograr varias tonalidades dentro de su gama. Muchas publicaciones parten de una carta de color simplificado. Navés en su libro *El Árbol en Jardinería y Paisajismo* (Navés Viñas et al. 1995), realiza una ficha cromática que permite ver el desarrollo cromático durante el año de cada especie arbórea. Para esta investigación nos centraremos en esta gama de colores simple.

La textura de las hojas se divide en dos categorías tacto y dureza. El tacto se divide en lisa que a su vez puede ser rugosa, pubescente, aterciopelada, tomentosa, áspera y escamosa. Y de dureza se divide en blanda en dos categorías coriácea o rígida

Tamaño de hoja

El tamaño de la hoja puede variar según la tipología de especie arbórea. Para la clasificación del tamaño de sus hojas lo dividiremos en tres categorías pequeña (P) que esta se define en un rango menor o igual a 5cm, mediana (M) se define en un rango de 5 a 10cm y las grandes (G) se define en un rango mayor a 10cm. Según el tipo de especie determina el tamaño de la misma.

Ilustración 19 Tamaño de de hoja



Dimensiones de la especie arbórea

La dimensión de una especie arbórea está definida por la altura total que está compuesta por la altura de la copa, la altura del tronco y diámetro de la copa del árbol. Estos valores varían según el tipo de especie y familia, ya que son las que definen las dimensiones y tipo de hoja.

Para esta investigación nos centraremos en las dimensiones de la copa del árbol, ósea su altura y diámetro, debido a que estos son los dos indicadores principales de la frondosidad y transmisividad.

Ilustración 18 Dimensiones de un árbol



Fuente: Elaboración propia.

Frondosidad del árbol

La frondosidad del árbol es determinada por la densidad de ramaje y de follaje (hojas). La densidad de ramaje se define como la cantidad y forma de ramas que constituye a un árbol, de donde nacen sus hojas, la misma es afectada por la poda. El follaje o densidad de hoja se define como la cantidad de hojas que se definen por sus características vegetales, ya anteriormente explicadas y por su tamaño que viene determinado por la tipología de familia y especie.

Ambos indicadores se convierten en un solo elemento que define la frondosidad de cada especie arbórea, determinando de esta forma la densidad volumétrica de hojas. La frondosidad se clasifica en tres tipologías frondosidad ligero, frondosidad media y frondosidad densa, que se determinaran por el análisis fotográfico de la copa del árbol. Estas frondosidades podemos definir las como:

La frondosidad ligera se define por la poca cantidad de hojas o ramas, permitiendo el paso de la radiación solar.

La frondosidad media se define por tener una cantidad de hojas y ramas media permitiendo solo el paso de un porcentaje de la radiación solar.

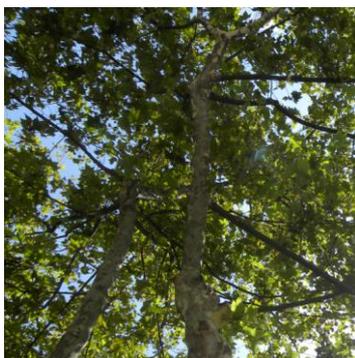
La frondosidad densa se define como una cantidad de hojas y ramajes que no permite en gran medida el paso de la radiación solar.

La frondosidad es inversamente proporcional a la *transmisividad* anteriormente explicada en el balance energético. Por lo que si determinamos su frondosidad obtendremos igualmente su transmisividad. Para lograr una correcta evaluación y comparación de las especies de estudios tendrán el mismo rango de dimensiones de copa del árbol.

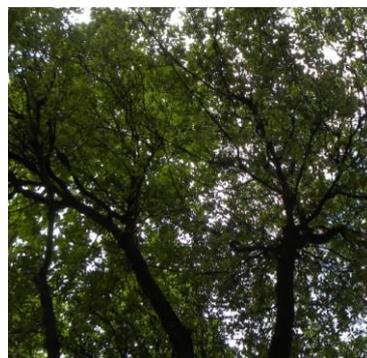
Ilustración 20 Comparación de frondosidades de especies arbóreas.



Frondosidad ligera



Frondosidad media



Frondosidad densa

Fuente: Elaboración propia.

1.3.3 Especies arbóreas de uso urbano

A nivel urbano existe una gran variedad de vegetación, que varía según el clima de cada ciudad y sus normativas urbanas. Según su origen, las plantas pueden ser *nativas* (aquellas que pertenecen al lugar) o introducidas de otro lugar. Como las ciudades de estudio son Barcelona (España) y Santo Domingo (República Dominicana), en la tesis se analizan los tipos de árboles de mayor uso urbano en estas dos ciudades.

Barcelona, España.

Para la evaluación de la vegetación en la ciudad de Barcelona se utilizarán como primera referencia publicaciones ya realizadas por el Ayuntamiento de Barcelona. En el 2011 realizaron una publicación llamada *La Gestión del arbolado viario de Barcelona* (Ajuntament de Barcelona 2011), en la que se explican los principios y normativas para la plantación de árboles en esta ciudad.

La Gestión del arbolado viario de Barcelona se basa en tres principios: la sostenibilidad, la creación de un paisaje diverso e identitario y una gestión segura/eficiente. Y los principales aspectos que define esta gestión son:

- Selección de especies arbóreas adecuada a las condiciones del medio.
- Incremento progresivo de la biodiversidad del arbolado de la ciudad (15% máximo por especie)
- Arbolado viario que conforme un paisaje más diverso (Forma, olores, colores, etc) favoreciendo la atracción de la fauna.
- Creación de paisajes que caractericen por mayor identidad, logrando que la ciudadanía los identifique y los sienta propio.
- Planificación de la plantación y mantenimiento del arbolado viario mediante protocolos estandarizados.
- Criterios de mantenimiento respetuosos con el árbol y utilización de la lucha integrada para el control de plagas y enfermedades.
- Uso racional del agua (riego por goteo y el riego con agua proveniente del subsuelo).
- Uso de las nuevas tecnologías, que permiten unificar esfuerzos y ahorrar recursos.
- Implantación de sistemas de gestión medioambiental (SGMA) o de gestión de la prevención y la salud de los trabajadores.

El ayuntamiento de Barcelona establece un sistema de gestión ambiental de gestión, mantenimiento de zonas verdes públicas y el arbolado viario con la certificación *UNE-EN-ISO 14001-04*, desde el año 2001. Establece una metodología (plantación, revisión y seguimiento

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

de controles) dando como diversos impactos positivos y negativos. Este sistema implica gestionar con criterios de eficacia y eficiencia.

El ayuntamiento expone que tiene 150,000 árboles plantados en las calles de la ciudad. Estructurando un sistema de verde que contribuye a la mejora de la calidad de la vida y convivencia urbana. En el año 2010, el porcentaje de especies arbóreas abundante en la ciudad eran el plátano (30%), el almez (12%), la sófora (6%), la tipuana (4%), el árbol botella (4%), la falsa acacia (3%), el cinamomo (3%), el olmo(3%), el aligustre (3%), el ciruelo rojo (2%) y un 30% de otras especies (Ajuntament de Barcelona 2011). El ayuntamiento por motivos de mantenimiento agrupan los arboles por categorías según su tamaño considerado para kis caducos y para los persistentes la altura total el perímetro de tronco a 1 metro del suelo (Tabla 6)

Tabla 6 Dimensiones de los árboles según el tronco en la ciudad de Barcelona

Categoría	1a	2a	3a	Ejemplar
Perímetro árboles	Hasta 40 cm	Entre 41 y 80 cm	Entre 81 y 110 cm	Superior a 110 cm
Porcentaje	27%	47%	21%	5%

Fuente: *La Gestión del arbolado viario de Barcelona*

Los árboles se clasifican en cuatro (4) categorías según el uso del árbol, las cuales son:

Árbol viario: es el árbol ubicado en las calles en la trama urbana. Su uso en el diseño viario es de alineación. Por su categoría es un arbolado que requiere un mantenimiento más constante.

Árbol de zona: es el árbol ubicado en jardines. Por este motivo su mantenimiento no es constante ya que no interfiere de manera directa con la edificación.

Árbol de parque: es el árbol ubicado en parques o jardines de la ciudad. Su mantenimiento es igual que el árbol de zona.

Árbol de zona naturalizada: árbol situado en zona forestal, son los marcado en zonas verdes. Su mantenimiento se limita a las circunstancia de cada zona. Para esta investigación nos limitaremos a la evaluación del árbol viario y de parque por ser el espacio urbano donde más conviven los usuarios de la ciudad.

La viabilidad de la plantación de los árboles en las calles de la ciudad se determina por el ancho de las aceras y características viarias (cruces, accesibilidad, visibilidad, etc.). Por este motivo el ayuntamiento de Barcelona los clasifica según sus dimensiones (porte) en tres categorías árbol de porte pequeño, árbol de porte medio y árbol de porte grande (Tabla 7).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Tabla 7 Clasificación de árboles según su porte en la ciudad de Barcelona

Porte	Diámetro de copa	Altura del árbol
Pequeño	Inferior a 4 metros	Menor de 6 metros
Mediano	Entre 4 y 6 metros	6 a 15 metros
Grande	Mayor de 6 metros	Superior a 15 metros

Fuente: *La Gestión del arbolado viario de Barcelona*

Además, como se observa en la Tabla 8, el ayuntamiento distingue entre varios tipos de plantación según la tipología de calle (calle estrecha, calle media y calle ancha).

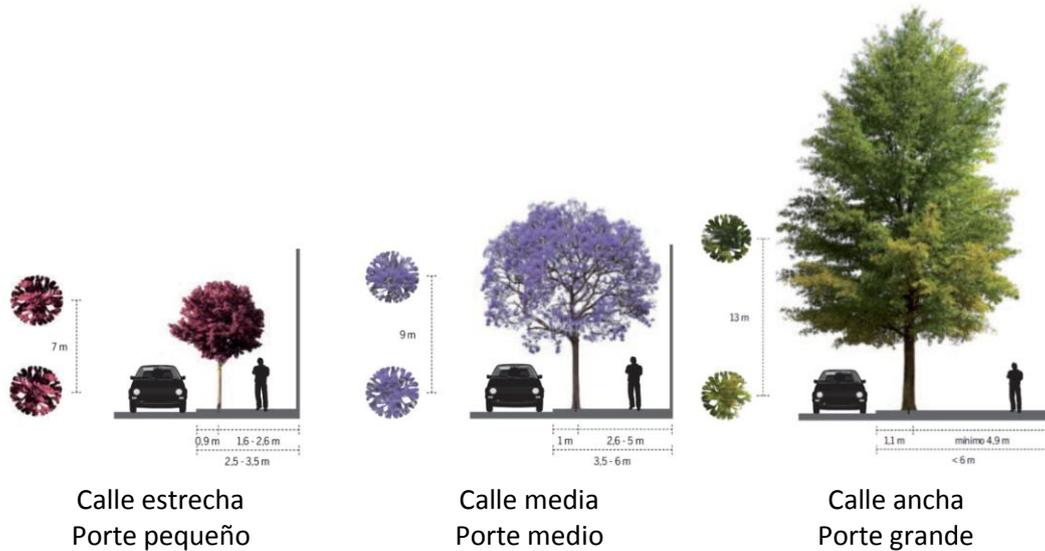
Tabla 8 Normativas para la plantación del arbolado según la tipología de calle.

Tipología de calle	Estrecha	Media	ancha
Dimensiones de acera	Inferior a los 3.5 metros	Entre 3.5 y 6 metros	Superior a 6 metros
Tipología de plantación de especies	Porte pequeño	Porte medio	Porte Grande
Distancia mínima entre árboles y faros	3 metros	4.5 metros	6.5 metros
Distancia mínima entre árboles	7 metros	9 metros	13 metros
Distancia entre árboles y semáforos/señalización	3 metros	3 metros	3 metros
Distancia entre árboles y vados	1 metro		
Dimensiones de alcorque	1 m ² (0.8 x 1.2 m)	1 m ² (0.8 x 1.2 o 1 x 1 m)	1,5 m ² (1.2 x 1.2 m)
Dimensiones de alcorque circulares	Diámetro de 1.2 metro		

Fuente: *La Gestión del arbolado viario de Barcelona*

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

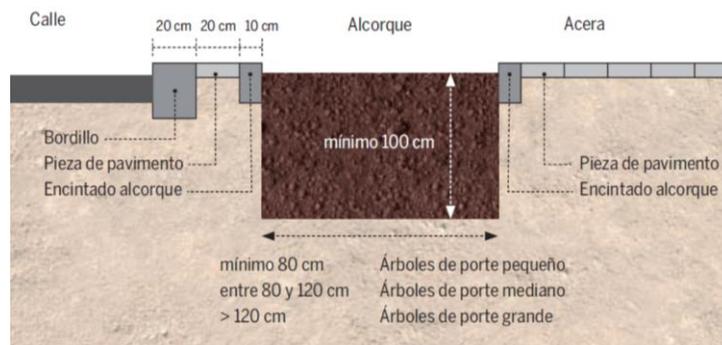
Ilustración 21 Ejemplificación de tipologías de calles y plantación arbórea



Fuente: *La Gestión del arbolado viario de Barcelona*

Para una mayor comprensión se ejemplifican la plantación arbórea según la tipología de calle en la Ilustración 21. Asimismo, se añade un ejemplo de sección de un alcorque para la plantación de una especie en la Ilustración 22, en la que se muestra cómo las características del alcorque varían de acuerdo al tipo de especie arbórea. El tamaño y la porosidad del alcorque son muy importante para la viabilidad del árbol, ya que la raíces también respiran.

Ilustración 22 Ejemplificación de sección de alcorque para la plantación arbórea en calles



Fuente: *La Gestión del arbolado viario de Barcelona*

Para la elección del arbolado a plantar el ayuntamiento realiza una inspección de la calidad de la especie de acuerdo a tres puntos: inspección visual de la copa, del tronco y del sistema radicular. De igual forma, los árboles ornamentales deben constar de un pasaporte fitosanitario que certifique la ausencia de plagas y enfermedades. La plantación de las especies en el cañón urbano deben provenir del mismo lote de plantación para sí obtener homogeneidad en las calles.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

El ayuntamiento de Barcelona (Ajuntament de Barcelona 2011) establece unas pautas de calidad para cada parte del árbol.

Para la parte aérea, el organismo público exige, entre otros requisitos: una proporción determinada entre altura, sección de tronco y forma de la copa en función de la especie arbórea, un tronco recto único libre de ramaje hasta los 2.5 metros de altura y un aspecto “saludable” de la masa foliar. Asimismo, a la parte subterránea se le requiere venir protegida por un pan de tierra o contenedor, con unos tamaños mínimos establecido y un sistema radical suficientemente desarrollado que haya sido repicado más de dos veces.

La Gestión del arbolado urbano de Barcelona (Ajuntament de Barcelona 2011) desglosa una tabla donde expone las distintas especies arbóreas que viven en las calles de la ciudad. En este listado detalla características de: nombre (científico, catalán y castellano), uso, medida, porte, tipo e idoneidad.

Uno de los objetivos del ayuntamiento de la ciudad es la sustitución especies arbóreas consideradas que presentan problemas si se plantan en el espacio urbano por otras más adecuadas. Como sucede con el Plátano de sombra (*Platanus x acerifolia*), dando unas pautas para la elección de especies arbóreas.

Dentro de este listado, específicamente las especies de mayor uso en las calles del distrito de *L'Eixample*, área principal donde se desarrollará esta investigación, son: El plátano de sombra, el almez, la tipuana, la encina, el árbol del amor, entre otros.

Del listado realizado por el ayuntamiento, hemos extraído las plantas de mayor uso en el Eixample (Ilustración 23).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 23 Los árboles de las calles de Barcelona

Especie	Catalán	Castellano	Uso	Medida	Porte	Tipo	Idoneidad en Barcelona
Celtis australis	Lledoner	Almez	V-Z/P	G		C	Elevada presencia en Barcelona, próximo al 15% establecido
Cercis siliquastrum	Arbre de l'amor	Árbol del amor	V-Z/P	M		C	
Parkinsonia aculeata	Parkinsònia	Palo verde	Z/P	P	 IR	C	Ramas con espinas
Platanus x acerifolia (P. x hispanica)	Plàtan d'ombra	Plátano de sombra	V-Z/P	G		C	Elevada presencia en Barcelona. Supera el 15% establecido. Dificultad de adaptación
Quercus ilex	Alzina	Encina	V-Z/P	M	 IR	P	
Schinus molle var. areira	Pebreter bord comú	Falso pimentero	Z/P	G	 IR	P	No adecuado en viario
Schinus terebenthifolius	Pebreter bord del Brasil	Pimentero del Brasil	Z/P	M		P	No adecuado en viario
Styphnolobium japonicum (Sophora japonica)	Sòfora	Sòfora, acàcia del Japón	V-Z/P	M		C	
Tilia cordata	Tell de fulla petita	Tilo de hojas pequeñas	V-Z/P	G		C	Dificultad de adaptación
Tilia x euchlora	Til-ler de Crimea	Tilo de Crimea	V-Z/P	G		C	Dificultad de adaptación
Tilia x europaea	Til-ler d'Holanda	Tilo común	V-Z/P	G		C	Dificultad de adaptación
Tilia platyphyllos	Til-ler	Tilo de hojas grandes	V-Z/P	G		C	Dificultad de adaptación
Tilia tomentosa	Tell argentat	Tilo plateado	V-Z/P	G		C	Dificultad de adaptación
Tipuana tipu	Tipuana	Tipuana, tipa	V-Z/P	G		C	

Legenda

Uso
Z/P: árbol apto para utilizar en zona o parque
V: árbol apto para utilizar en viario

Medida
G: grande
M: mediana
P: pequeña

Tipo
P: perenne
C: caduca

Porte
Aparasolada
Columnar estrecha – Fusiforme
Columnar
Cónica
Elíptica
Estéfrica
Irregular
Péndula
Ovoide

Palmiforme
 Piramidal
 Semiovoide
IR Irregular

Idoneidad, como árbol viario en Barcelona

Plantación recomendada, tanto para reposición de fallas como para nuevas plantaciones
 Plantación con restricciones. Sólo para cobertura de fallas en aquellas calles donde se mantiene la especie; evitar hacer nuevas plantaciones
 Evitar la plantación
 Especie en estudio

--- Especies de estudio

Fuente: *La Gestión del arbolado urbano de Barcelona*

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Dentro de esta investigación, se han realizado mediciones in situ de nueve (9) especies relevantes por su presencia y por sus diferentes frondosidades de las recogidas de este listado, dentro de veintitrés (23) puntos de mediciones de espacios urbanos de singulares como:

Tabla 9 Listado y ubicación de las especies arboreas estudiadas en esta investigación

Número	Nombre		Ubicación (Punto de mediciones)
	Científico	Común	
1	<i>Celtis australis</i>	almez	Carrer Bailén
			Carrer Casp
			Carrer Casanova
			Carrer Londres
			Plaça Tetuán
			Av. Diagonal (entre Carrer Rosselló y Carrer de Roger de Llúria)
2	<i>Platanus x hispánica</i>	plátano de sombra	Carrer Bailén
			Carrer Casp
			Carrer Casanova
			Carrer Londres
			Av. Diagonal (entre Carrer Rosselló y Carrer de Roger de Llúria)
			Av. Diagonal (entre Carrer Rosselló y Carrer de Roger de Llúria)
			Av. Diagonal (entre Passeig de Gràcia y Carrer de Córsega)
Plaça Urquinaona			
3	<i>Sophora japonica</i> (<i>Styphnolobium japonicum</i>)	sófora	Carrer Bailén
4	<i>Quercus ilex</i>	encina	Av. Diagonal (entre Carrer de Pau Claris y Carrer de Roger de Llúria)
			Av. Diagonal (entre Passeig de Gràcia y

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

			Carrer de Córsega)
			Plaça Catalunya
5	<i>Schinus Molle</i>	falso pimentero	Av. Diagonal (entre Carrer d'Aribau y Carrer de Londres)
6	<i>Parkinsonia aculeata</i>	parkinsonia	Plaça Universitat
7	<i>Tilia x europea</i>	tilio	Rambla Catalunya con Gran Vía de les Corts Catalanes
8	<i>Brachychiton populneus</i>	árbol botella	Carrer de Fontanella (Entre Av. Portal del Angel y Carrer d'Estruc)
9	<i>Cercis siliquastrum</i>	árbol del amor	Av. Diagonal (entre Carrer Rosselló y Carrer de Roger de Llúria)
Total	Nueve (9) especies arbóreas		Veintitres (23) punto de mediciones

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, por motivos de estructura de la tesis presentaremos resultados y evaluaremos en profundidad únicamente tres de ellas, tomando como indicador la frondosidad. Del listado de especies arbóreas según su tipología de frondosidad y porte seleccionaremos a la *parkinsonia*, plátano de sombra y la encina. Estas tres especies según el ayuntamiento de Barcelona son especies que existen en ámbito urbano de la ciudad y esta localizadas en el centro de Barcelona.

Santo Domingo, República Dominicana.

Para la evaluación de la vegetación en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana se utilizará como primera referencia la *Normativa para el arbolado de Santo Domingo "clasificación de plantas y tipos"* (Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) y Arquitecto 2007) y *Los Árboles de Santo Domingo* (Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo y Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) 2010).

Las normativas (Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) y Arquitecto 2007) existentes para la plantación de las especies arbóreas en la ciudad son las siguientes:

Aceras

- El arbolado debe permitir el paso libre por lo menos de 1 metro.
- Una distancia mínima de 5 metros de la plantación del árbol a una intercepción de dos vías.
- Una distancia mínima de 5 metros entre los árboles y postes eléctricos.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Según el ancho de la acera se determinaron normativas para la plantación como a su vez la recomendación de algunas especies arbóreas.

Tabla 10 Espacio aconsejable para los árboles en el espacio urbano de la ciudad

Ancho de aceras	Espacio aconsejado para los arboles	Especies Recomendadas
Menor de 1.20 metros	No se aconseja plantación	Trepadoras
1.30 - 1.50 metros	0.50 x 0.50 metros	Arboles chino, coralillos blancos, cabrita entre otros
1.60 - 2.00 metros	0.80 x 0.80 metros	Avellano criollo, Caimito cimarrón entre otros
2.10 - 3.00 metros	1.00 x 1.00 metros	Avellano criollo, Roble blanco, Roblillo entre otros.
3.10 x 4.00 metros	1.5 x 1.5 metros	Grigri, Caimito cimarroón, Caoba entre otros
Más de 4.00 metros	2 x 2 metros	

Fuente: Normativa para el arbolado de Santo Domingo “clasificación de plantas y tipos”

En la actualidad existe un alto nivel de carencia de información sobre el arbolado urbano de Santo Domingo. Por este motivo el gobierno inicia un proyecto que ejecuto a partir del año 2008 llamado El Sistema de la Información Geográfica del Arbolado (SIG) realizado por el Instituto Tecnológico de Santo Domingo junto con el Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA).

El objetivo de este proyecto es realizar un inventario georreferenciado de los árboles de la ciudad. Este documento proporcionará información útil para la planificación, ejecución de la siembra y mantenimiento de los arboles ya existentes, a disposición de los investigadores y autoridades que la necesiten. Cabe destacar que para la elaboración de este inventario se involucra estudiantes, junta de vecinos, profesores y el público en general (Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo y Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) 2010).

Se realizaron levantamientos en el sector Los Ríos y Gazcue. En resultado final obtenido son 188 árboles en Los Ríos y 190 árboles en Gazcue. En ambos sectores las especies predominantes fueron las introducidas o exóticas, dando como resultado que la gran mayoría de los árboles sembrados eran especies prohibidas por la normativa del arbolado del Distrito Nacional, un 10% en Los Ríos y un 23% en Gazcue. Las especies prohibidas más comunes fueron la acacia amarilla (*Cassia siamea*), el pino australiano (*Casuarina equisetifolia*), la javilla extranjera y el nin (*Azadirachta indica*).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

El resto de árboles son especies arbóreas que requieren un manejo especial (Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo y Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) 2010). Este levantamiento reflejó un 33% de las especies existentes son especies prohibidas por el ayuntamiento, por lo que debería iniciarse una renovación de las mismas.

Por consiguiente este mismo tipo de levantamiento urbano debe ser implementado en toda la ciudad de Santo Domingo para de esta forma determinar las especies que deben ser eliminadas y reemplazadas por nuevas especies.

El Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) (Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo y Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) 2010), en el 2010, señaló como problemas generales que presenta la vegetación en la ciudad son los siguientes:

1. Falta de árboles adecuados

Carencia de diversidad de especies arbóreas en los viveros comerciales, mala calidad de las plantas disponibles para la plantación conllevando a problemas de mantenimiento.

2. Falta de espacios para las plantas

Durante el crecimiento de la ciudad, no se reservó un espacio adecuado destinado para la siembra de árboles y creación de espacios verdes urbanos. Por este motivo, en ciertas zonas de la ciudad se percibe una ausencia de áreas verdes, convirtiendo la vegetación en un elemento solo decorativo.

Ejemplos de la importancia marginal que se concede a la vegetación serían: la ocupación de las pocas áreas verdes existentes por parte de empresas comerciales, y constructores, la pavimentación para crear áreas de recogida de basura o la poda del arbolado marcada por la distribución del cableado.

En la Ilustración 24, se puede apreciar el tipo de poda en V, es muy común en la ciudad, destruyendo la estructura del árbol.

3. Falta de mantenimiento

La carencia de mantenimiento en las plantas en general, como el riego y la poda, creando inestabilidad en la vegetación.

4. Falta de información sobre las características de las especies arbóreas.

La carencia del debido uso de las tipologías de especies crea situaciones como destrucción de las áreas urbanas como aceras, por este motivo debe evaluarse las tipologías de especies de uso urbano.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

**Ilustración 24 Poda del arbolado marcada por la distribución
del cableado**



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 25 Ejemplo de las situación de los árboles en el
espacio urbano de la ciudad.**



Fuente: *Los Árboles de Santo Domingo*

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

El resultado obtenido de este estudio es un listado de las especies recomendadas para uso urbano que puede ser consultado en la *Normativa para el arbolado de Santo Domingo "clasificación de plantas y tipos"* (Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) y Arquitecto 2007) y *Los Árboles de Santo Domingo* (Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo y Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) 2010).

Del listado realizado por *El Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN)*, hemos extraído las plantas de mayor uso en la ciudad de Santo Domingo. Dentro de esta investigación, se han realizado mediciones in situ de cinco (5) especies de las recogidas de este listado, dando como resultado seis (6) puntos de mediciones:

Tabla 11 Listado y ubicación de las especies arbóreas estudiadas en esta investigación

Número	Nombre		Ubicación (Punto de mediciones)
	Científico	Común	
1	<i>Terminalia catappa</i>	Almendro	Calle Cesar Nicolás Penso
2	<i>Hura crepitans</i>	Jabilla	Av. Anacaona
			Calle Cesar Nicolás Penso
3	<i>Roystonea borinquena</i>	Palmera Real	Av. Winston Churchill
4	<i>Swietenia mahogani</i>	Caoba	Av. Winston Churchill
5	<i>Delonix regia</i>	Flamboyan	Parque Mirador Sur
Total	Cinco(5) especies arbóreas		Seis (6) puntos de mediciones

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, por motivos de estructura presentaremos resultados y evaluaremos en profundidad únicamente una de ellas, tomando como indicador la frondosidad. Del listado de especies arbóreas según su tipología de frondosidad y porte seleccionaremos *Delonix regia* (Flamboyan). Esta especie según el ayuntamiento del Distrito Nacional es una especie que existe en ámbito urbano de la ciudad. Se elige el Framboyan por ser una especie arbórea diferente al clima mediterráneo y por ser una especie abundante en climas cálidos húmedo.

Tabla 12 Los árboles de estudios de la ciudad de Santo Domingo

Nombre común	Nombre científico	Procedencia	Porte	Descripción	Uso
Flamboyan	<i>Delonix regia</i>	naturalizada	mediano	altura hasta 12 m, diámetro copa hasta 20 m, raíces superficiales muy desarrolladas, flores rojas, susceptible a ataques de termitas, ramas quebradizas	jardines privados, parques, plazas grandes

Fuente: *Normativa para el arbolado de Santo Domingo*

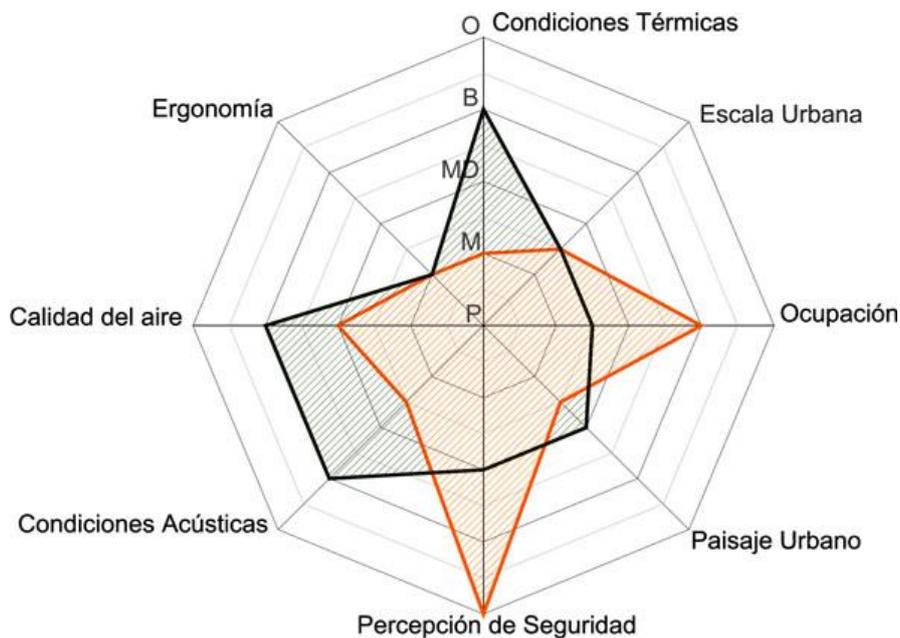
1.3.4 Iniciativas a nivel mundial institucionales para incremento del arbolado urbano.

En la actualidad numerosas ciudades del mundo están implementando investigaciones y normativas para la plantación de arbolado urbano, en búsqueda del mejoramiento del mismo desde el punto de confort térmico hasta el embellecimiento del espacio. Realizaremos un recuento de algunas de ellas y su enfoque en la sociedad, para evaluar qué aportaciones han realizado el área de los espacios urbanos y el confort.

Sevilla, España. Los arquitectos Enrique Mínguez Martínez, Pablo Martí Ciriquián y María Vera Moure han creado una guía llamada “*Claves para proyectar espacios públicos confortables. Indicador del confort en el espacio público*” (Mínguez Martínez, Ciriquián y Moure 2015). Esta guía es una herramienta de acceso al público en general permitiendo el conocimiento de los factores, clasificaciones y estrategias del confort térmico urbano y la vegetación.

Esta guía se resume los factores que influyen en el confort urbano y clasificación de los factores de confort. Los factores que influyen en el confort urbano son: características del entorno y condicionantes térmicas, de escala urbana, de ocupación, de paisaje, de percepción de seguridad, de condiciones acústicas, de calidad del aire y de ergonomía. Todas ellas se resumen en la Ilustración 26. Esta ilustración explica el confort en el espacio público día y noche.

**Ilustración 26 Esquema de Confort en un mismo Espacio Público.
Superposición día/noche**



Fuente: *Claves para proyectar espacios públicos confortables. Indicador del confort en el espacio público*

En la misma se desarrollan explicaciones de cada una de las características y los elementos de mejora de los mismos. Para esta tesis el apartado que evaluaremos será el de condiciones térmicas, por este motivo será el enfoque principal.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

En relación a las condiciones térmicas estos autores explican que investigaciones sobre el confort térmico de la ciudad, concluyen que la calidad, cantidad y forma de uso de los espacios públicos urbanos son determinadas en gran parte por sus condiciones climáticas. Ofreciendo como mejora de estas condiciones la dotación del arbolado urbano mediante el indicador “Dotación de los árboles para la mejora del confort térmico”, ya que ofrece mejora a través de la sombra producida por el arbolado y la integración del espacio público.

La estrategia principal consiste en dotar los espacios públicos de árboles adecuados. Donde los indicadores principales son la dotación de árboles, la sombra mínima será del 60% del ancho de la acera para espacios de tránsito y un 80% para las áreas estacionales.

Los parámetros de cálculos de estos indicadores serán: factor de orientación (Fo), factor de escala urbana (FU) y separación entre copas (SC).

El plan especial de indicadores de sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla se configura como un instrumento previo a la formulación de la planificación urbanística que debe desarrollarse en el marco del Plan General de Ordenación Urbana de Sevilla. (Gerencia de Urbanismo y Ayuntamiento de Sevilla 2008) plantean un modelo de desarrollo urbano que sea integrador de la relación ciudad-medio y los elementos que existen en ella. El plan se estructura en cuatro (4) ejes:

- La compacidad: atiende a la realidad física del territorio. Soluciones que adopten la densidad edificatoria, la distribución de usos espaciales, el porcentaje de espacio verdes y/o el viario etc. determina la proximidad entre los usos y funciones urbanas. La calidad del espacio público no es solo un indicador relacionado con el concepto de la compacidad, sino que al mismo tiempo es indicador de estabilidad.
- Complejidad: es la relación de la ciudad entre los entes organizados. Es una mezcla entre orden y desorden. Busca incrementar el índice de diversidad donde está el equilibrio entre usos y funciones urbanas.
- Eficiencia: Es el eje que está relacionado con el metabolismo urbano. Los cuales son los flujos de materiales, agua y energía que permite que tenga su organización y evite la contaminación.
- Estabilidad social: este eje está ligado a la cohesión social y el codesarrollo. Está ligado a las personas y las relaciones sociales en el mismo sistema urbano.

Esta estructura responde a tres (3) niveles:

- Altura: Este nivel busca la eficiencia metabólica a través del cierre de ciclos naturales de forma in situ. Tomando la cubierta como un elemento generador de nuevos paisajes, de soporte y usos.
- Superficie: responde a todo lo relacionado a la diversidad urbana y paisaje urbano.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

- Subsuelo: se enfoca en la funcionabilidad del metabolismo urbano. Luego de incluido este tema en lo que es el urbanismo sostenible, se refleja problemáticas de escasez de

Dentro de estas investigaciones algunas ciudades han realizado publicaciones de las soluciones urbanas implementadas para la mejora a las situaciones de discomfort que se están generando.

Madrid, España. El departamento del ayuntamiento y la compañía Arup, lanza un plan “Madrid + Natural” (Equipo de Plataforma Urbana 2016) (Azcarate Luxán et al. 2015) respondiendo a problemas como la contaminación, aumento de fuertes vientos, precipitaciones, temperaturas muy elevadas o pérdida de biodiversidad. La solución es la propuesta de desarrollo de infraestructura urbana verde, logrando proteger las edificaciones, climas extremos y reducir la huella de carbono. El objetivo es cubrir en su mayoría las áreas que podrían generar discomfort.

Nueva York, Estados Unidos de América. En el 2007 determino plantas 1 millón árboles para el 2017, con el nombre de “MillionTreesNYC” (Martínez Gaete 2016d). Se trata de una propuesta de *Proyecto de Restauración de Nueva York* (NYRP) impulsada por el Departamento de Parque y recreación (NYC Parks). Esta propuesta finalizó en Noviembre del 2015. En ocho años se consiguieron 50 mil voluntarios, 70% de árboles financiados por el ayuntamiento y el 30% de organizaciones, logrando así un aumento de un 20% en menos de una década.

París, Francia. Tiene el objetivo principal (Direction des Espaces Verts et de l’Environnement 2014) de lograr que una cuarta parte de su superficie sea áreas verdes para el 2020. Creando un sistema “Verde cerca de mí” que invita a los habitantes a convertirse en los jardineros de sus barrios (Martínez Gaete 2016e) (Martínez Gaete 2016a). Este programa se basa en seis (6) objetivos:

- Reducir el efecto de las islas de calor
- Todas las nuevas construcciones que se hagan en la ciudad deben destinar un espacio para plantar vegetación
- Crear 100 hectáreas de fachada y techos verdes
- 30 nuevas hectáreas de espacios públicos verdes
- Plantación de 20 mil árboles
- Habilitar 200 áreas para plantas frutas y verduras en la superficie

Los usuarios que deseen ser parte de esta iniciativa podrán solicitar una licencia (duración 3 años renovables) otorgándole: permiso para plantar en espacios públicos de su barrio, asesoría profesional, kit de plantación y firmar una carta de compromiso.

Por otra parte, el proyecto “*Reinventar París*” (Martínez Gaete 2016f) consiste en la rehabilitación de 22 proyectos emblemáticos que están en desuso. La rehabilitación va

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

enfocada a crear espacios públicos para la población y para la creación de espacios verdes. De estos 22 proyectos los más enfocados a la realización de áreas verdes son: Sub estación eléctrica Voltaire (Zona verde de terrazas), Conservatorio del distrito 13 (Una terraza verde), “Italia 2” en el Distrito 13 (terrace verde de 1.100 metros cuadrados), Pershing (Siembra de mil árboles con el objetivo de cubrir parte de las edificaciones residenciales y el vínculo de la biodiversidad), Ordenar (Jardines que serán de cultivo para los propios habitantes) y Ourcq Jaurès (Integración de la agricultura a la vida urbana)

Aarhus, Dinamarca. Los arquitectos daneses Schønherr (Franco 2016) han realizado un determinado número de intervenciones urbanas a gran escala durante el Festival de Aarhus. Creando proyectos temporales que transforman sus calles y parques en espacios públicos. Esto permite la comprobación de esta intervención para luego proyectarla a largo plazo.

Hamburgo, Alemania. Esta ciudad tiene un plan estratégico (Azcarate Luxán et al. 2015) de crear una red de espacios verdes en toda la ciudad para el año 2030. Que consiste en la unión del anillo exterior con su centro.

1.4 Consecuencias del uso del arbolado sobre las condiciones ambientales urbanas.

La vegetación es una de las herramientas de mayor uso urbano en la actualidad para la solucionar el discomfort térmico producido por las altas temperaturas. Pero como todo en la vida tiene sus aspectos positivos y negativos. En este apartado enfocaremos estos detalles para ponderar las aportaciones a nivel general que crea la vegetación.

1.4.1 Aspectos positivos

El arbolado juega un rol importante en la ciudad ya que proporciona beneficios a nivel ambiental y social. La gestión del arbolado viario de Barcelona (Ajuntament de Barcelona 2011) enumera algunas de estos aspectos, los cuales son:

Mejora de la calidad del aire

El arbolado influye en la limpieza del ambiente, eliminando contaminación atmosférica, causadas por tráfico, industria entre otros. La producción de oxígeno por parte de los arboles es algo de gran valor para el planeta, absorbiendo la producción de dióxido de carbono (CO₂) de la atmosfera disminuyendo los gases del efecto invernadero.

El índice de desempeño ambiental (EPI) del 2016 (Martínez Gaete 2016b) expresa que el tema más recurrente en las categorías de análisis es la contaminación. Registrando que en el 2013, la contaminación del aire fue responsable de un 10% de la muerte a nivel global y del agua un 2%. La mitad de la población global (3,5 millones de personas) vive en zonas con una calidad de aire insegura. Estos resultados son alarmantes ya que cada día más es peor. Por este motivo la siembra de árboles en las zonas urbanas es de gran valor.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Regulación climática

En previos estudios se ha comprobado que la vegetación disminuye las condiciones climáticas del entorno. Además logra disminuir las temperaturas en lugares peatonales gracias a su sombra proyectada.

Estudios de la Universidad Nacional de Entre Ríos (Buenos Aires) (Rocha 2016) demostraron que una calle sin arboles la temperatura aumenta hasta 9°C. Realizado bajo la dirección de María Silvia Carponi, se realizaron mediciones de dos calles una con y sin árboles. En las calles no arborizadas se mostró una diferencia de 3,2°C y en caso de una especie arbóreas y césped esta diferencia puede alcanzar hasta 9 °C. Las aportaciones de este trabajo comprobaron que la vegetación es una herramienta que aporta sensación de confort. Carponi señaló que debemos volver a lo autóctono, que debe preparar la especie arbórea de manera que cuando sea plantado cumpla con las características necesarias, no cualquier especie cumple esto.

Tener espacios verdes en las áreas urbanas se ve reflejado en el confort y en la isla de calor urbano. Estudios han demostrado que esto logra beneficios a grande escala. El Project for Public Spaces (PPS) (Martínez Gaete 2016c) clasifica los beneficios que se obtienen de los espacios públicos con buenos lugares y los clasifica en seis ámbitos. Los cuales son los siguientes: Accesibilidad, Comunidad, Confort, Construir y sostener la economía local, interacción Social y Salud. Siendo nuestro ámbito de estudio en la tesis el confort térmico.

En el 2008 Matzarakis y Amelung (Matzarakis y Amelung 2008) utilizando el concepto de Physiological Equivalent Temperature (PET) estudiaron diferentes zonas climáticas concluyendo que cada día más las condiciones térmicas del espacio urbano se irán incrementando generando más consumos energéticos. Por lo que nuestro interés inicial es lograr mejoras urbanas para mitigar esta problemática.

Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999) demostró en su investigación que la vegetación es una excelente herramienta de control climático. Luego en el 2006 Robitu, Musy, Inard y Groleau concluyeron en una investigación que los árboles y los estanques de agua deben ser considerados como medios reales para la mejora de las condiciones micro climáticas en exterior (Robitu et al. 2006). En el 2007 Ali Toudert y Mayer (Ali-Toudert y Mayer 2007) concluyeron que el uso de árboles conduce a una disminución de PET hasta 22 °C directamente bajo las copas de los árboles debido a la menor irradiación solar.

Para lograr parámetros de confort en espacios urbanos, se deben utilizar elementos de obstrucción a la radiación. Como podemos ver en los estudios previos, la vegetación es una de estas herramientas que logra una gran obstrucción y aportaciones de confort al espacio.

Atenuación de la contaminación acústica

La vegetación en general logra la atenuación de la contaminación acústica a través de la absorción, desviación, reflexión y la refracción del sonido (Ochoa de la Torre 2009) (Ajuntament de Barcelona 2011). Los arboles tiene una característica especial de disminuir el ruido y al mismo tiempo otorga sonidos relajante a través de sus hojas y el viento.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Regulación del ciclo hídrico de la ciudad

Los árboles aportan permeabilidad en caso de escorrentía logrando absorber grandes cantidad de agua, su estructura permite la retención de contaminante en el agua.

Incremento de la biodiversidad

La plantación de especies en ámbito urbano permite el aumento de biodiversidad de especies tanto arbóreas como de animales en la ciudad, creando un ambiente de aprendizaje para niños y adultos. Por otra parte, aumenta la diversidad de animales como pájaros al ambiente.

Equilibrio psicológico

Los árboles por sus características morfológicas aportan color y vida a los espacios urbanos, otorgando a las personas un ambiente de bienestar y calidad de vida (Ochoa de la Torre 2009; Ajuntament de Barcelona 2011). Además de involucrar la parte histórica de la ciudad logrando un vínculo entre los ciudadanos y su entorno.

Valor económico

La vegetación en ámbito urbano logra dos aportaciones en ámbito económico a la ciudad y estas son, embellecimiento por parte de las especies logrando aumentar el valor de las viviendas y reducción de consumo energético en las viviendas gracias a las aportaciones microclimáticas que crean en su entorno.

1.4.2 Aspectos negativos

El arbolado urbano logra grandes aspectos positivos en su entorno, pero de igual forma conlleva aspectos negativos que si no se toman en cuenta puede afectar el entorno o la salud de las personas estos aspectos son:

Incremento de coste

El arbolado urbano tiene muchos beneficios en las calles de la ciudad, pero de igual forma conlleva un compromiso con su mantenimiento, poda, limpieza del entorno y riego. Este apartado cae en responsabilidad de las instituciones gubernamentales, creando un coste mayor o menor según el tipo de árbol plantado.

La elección de las especies interviene tanto en su coste de mantenimiento por cuidados como de igual forma la capacidad de destrucción del entorno por sus raíces.

Alergias

Las alergias causadas por algunas especies arbóreas son debidas en algunos casos al polen, que en época de floración empeora causando un gran discomfort en los espacios urbanos.

La influencia de las especies arbóreas en la evaluación del confort humano.

2 La influencia de las especies arbóreas en la evaluación del confort humano.

Esta investigación se desarrolla en base a un estudio de campo y de análisis de especies arbóreas, por este motivo la metodología de investigación implementada se dividirá en dos partes diferenciadas:

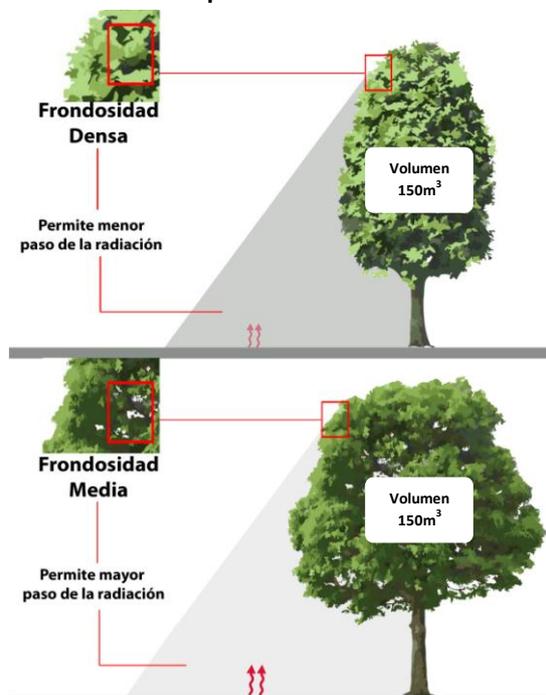
1. Metodología de medición y procesamientos de datos: Se estudiarán las condiciones de entorno y las variables a analizar. Se realizaran las mediciones in-situ y se procesarán los datos recolectados
2. Metodología de Evaluación del confort: Una vez procesados los datos, se realizarán cálculos para determinar el nivel de confort que produce cada especie arbórea.

El resultado final a futuro serán unas fichas técnicas donde describirán cada especie arbórea, sus características y el confort térmico que la misma genera.

2.1 Caracterización de la especie arbórea por su frondosidad.

Las especies arbóreas poseen una gran variedad de características que la definen y que influyen en micro clima urbano. Las variables para la elección de las especies arbóreas serán su frondosidad, su característica estructural, su característica morfológica y su dimensión.

Ilustración 27 Tipologías de frondosidades de especies arbóreas



Fuente: Elaboración propia con base en el programa Vector

Las características dimensionales, estructurales y morfológicas definen la especie arbórea pero no determinan las variaciones que puede lograr a las condiciones climáticas, si no su frondosidad.

La frondosidad se define por la densidad del ramaje, hojas y tamaño de la hoja que permite un porcentaje de paso de la radiación solar. Este porcentaje puede influir en las aportaciones térmicas al ambiente, a través de la temperatura radiante.

Se debe tomar en cuenta que incluso especies arbóreas con el mismo volumen de hojas no poseen la misma frondosidad por lo que su porcentaje de paso de luz solar no es el mismo (Ilustración 27). Por este motivo la variable principal de estudio es la frondosidad.

Navés clasifica la frondosidad de la especie en tres tipologías frondosidad ligera, media y

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

densa (Navés Viñas et al. 1995) (Navés 2005). Esta variable proporciona información de forma sintética sobre la sombra proyectada, densidad de hojas y ramaje.

Las características estructurales son las que describen la forma de la copa del árbol, la estructura del ramaje y su densidad. Las características de morfología vegetal definen las características de la hoja como el tipo, el color, la textura y el tamaño. Las dimensiones de la especie arbórea definen su altura, diámetro, volumen de copa, diámetro del tronco. La frondosidad define la sombra proyectada. De esta forma evitamos en este estudio de la tesis aquellas que han sido afectadas en gran medida por la poda.

Para evaluar cómo la frondosidad de la especie arbórea modifica su entorno se han realizado mediciones de las condiciones ambientales como Temperatura del aire (°C), Humedad relativa (%), Movimiento del aire (m/s), Radiación solar en plano horizontal (W/m²) y de la Temperatura radiante (°C).

Ha quedado demostrado en anteriores investigaciones como Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999), Echave Martínez (Echave Martínez 2007), Rojas Cortorreal (Rojas Cortorreal, Roset y Navés 2013), entre otros, que la vegetación a pequeña escala provoca variaciones poco significativas de la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad y la dirección del viento.

La metodología de estudio se clasifica en determinar la densidad de la copa del árbol y la densidad de la sombra proyectada dando como resultado final una caracterización de frondosidad.

2.1.1 Determinación de la densidad de la copa del árbol.

La densidad de la copa del árbol condiciona en gran medida la cantidad de radiación que pasa a través de la misma. Para el análisis de este fenómeno, investigaciones previas emplean un parámetro denominado *transmisividad*. Ochoa de la Torre la define como *el porcentaje de radiación solar que pasa a través del follaje* (Ochoa de la Torre 2009).

En esta tesis, la obstrucción de radiación provocada por el árbol se describirá mediante el parámetro de *frondosidad*. Este concepto, opuesto al de *transmisividad*, ha sido seleccionado por parecernos más descriptivo del efecto de obstrucción causado por la vegetación. La frondosidad será un indicador adimensional con valores entre 0 (pasa el 100% de de la radiación) y 1 (pasa 0% de la radiación)

El estado del arte se desprende que Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999)(Ochoa de la Torre 2009), Cantón (Cantón, Cortegoso y De Rosa 2000) y Arboit (Arboit 2013) habían realizado metodologías y estudios de campo para conocer la transmisividad de una especie arbórea. Tras estas metodologías empleaban la fotografía de campo como herramienta de análisis.

Con estos estudios queda demostrado que la implementación de métodos fotográficos para el análisis de permeabilidad en especies arbóreas es fiable, permitiendo que se evalúen un

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

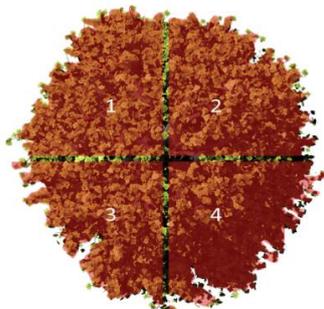
número determinado de imágenes en un lapso de corto tiempo (Cantón, Cortegoso y De Rosa 2000).

En la presente investigación de tesis se ha desarrollado una metodología propia para la evaluación de la frondosidad de la especie arbórea, desarrollada a partir de los estudios realizados por Cantón y Arboit. Se divide en tres pasos:

a. Realización de toma fotográfica de campo.

La metodología se basa en dos tipos de levantamiento fotográfico que tiene como objetivo el estudio de la frondosidad y la densidad de la sombra proyectada. La instrumentación utilizada fue una cámara modelo *Nikon P90*. Los levantamientos fotográficos realizados fueron:

Ilustración 28 Representación gráfica de la captura de imágenes fotográficas bajo la copa del árbol



Vista en planta



Elevación

Fuente: Elaboración propia

Froncosidad de la copa del árbol: Este procedimiento consiste en la toma de cuatro imágenes desde debajo de la copa del árbol (Ilustración 28). A través de estas cuatro imágenes evaluamos la frondosidad de la copa del árbol (grado de obstrucción de la visión del cielo) y la influencia de sus características estructurales (forma y ramaje).

Los levantamientos fotográficos se realizaron en verano e invierno. Se eligieron dos estaciones del año porque son las dos situaciones de mayor extremo para las especies arbóreas.

b. Procesamiento de imágenes en elemento binario

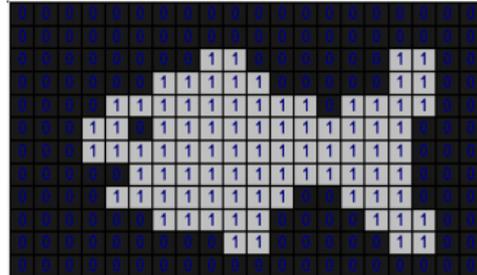
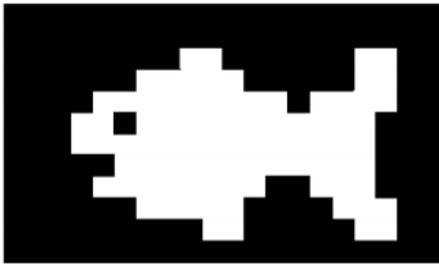
Para poder evaluar la frondosidad de la especie arbórea se procesaron cada una de las imágenes para convertirla en una imagen binaria, para de esta forma reducir la información donde solo existan dos valores verdadero y falso.

La imagen binaria (Solé Sugrañes 2016) es una imagen digital que se caracteriza por tener solamente dos valores para cada pixel. Dichos valores se pueden representar por 0 o 1 o bien por los colores blanco (valor 0) y negro (valor 255) (Ilustración 29)(LibroVisión 2012).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Para el tratamiento de las imágenes en un elemento binario se utilizó un software informático *el ImageJ* (Imagen Processing and Analysis in Java 2011)(Ilustración 30)(Ilustración 31).

Ilustración 29 Representación de una imagen binaria.



Fuente: Librovisión, Imagen Binaria

En la Ilustración 31 se puede apreciar la interfaz del programa. Cuenta con una gran variedad de herramienta para edición de imágenes.

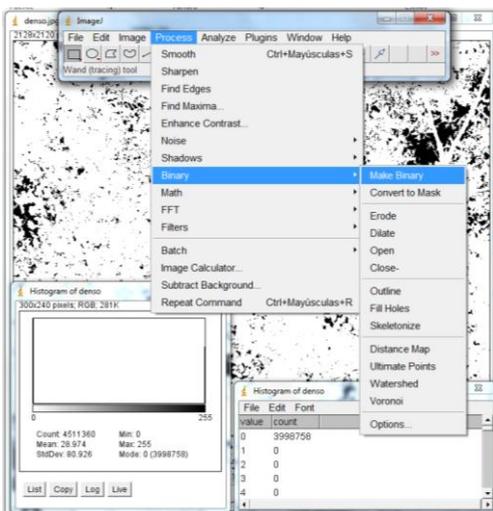
**Ilustración 30 Logo del programa
informático ImageJ**



ImageJ
Image Processing & Analysis in Java

Fuente: *ImagenJ*

**Ilustración 31 Interfaz del programa
informático ImageJ. Procesamiento de
imagen de un árbol denso.**



Fuente: *ImagenJ*

Para esta investigación solo utilizaremos las herramientas:

- **Process:** En la cual elegiremos la opción Binary y luego Make binary. De esta forma convertimos la imagen en un elemento binario.
- **Analyze:** Luego analizaremos la imagen a través de su Histograma.

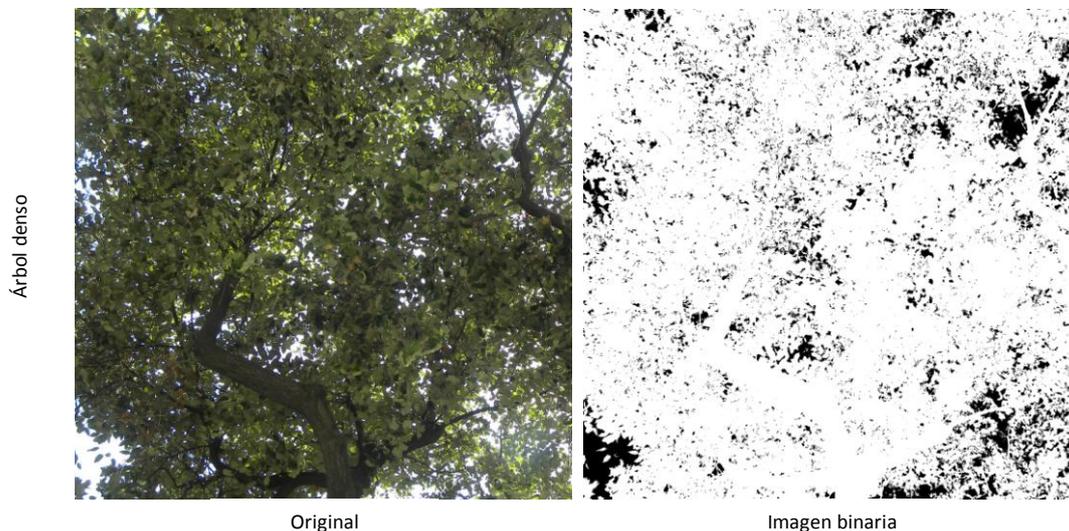
Para el procesamiento de las imágenes se realizó en dos etapas, se evaluó su frondosidad para conocer el porcentaje de protección que ofrece la especie y su sombra proyectada.

Realizado el levantamiento fotográfico de la copa del árbol, se procede al procesamiento de las cuatro imágenes a través de las herramientas *Process* que nos permite convertir la imagen en un elemento binario y *Analyze* que nos permite a través del histograma de la imagen analizar la cantidad de pixeles blancos y negros.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

En la Ilustración 32 se observa un ejemplo de la imagen ya procesada convertida en un elemento binario.

Ilustración 32 Representación del procesamiento de una imagen de la copa del árbol a binaria



Fuente: Elaboración propia a través del programa ImagenJ

En la Ilustración 32 se puede apreciar el procesamiento de una imagen de un árbol denso. La imagen de la izquierda es la foto original y la derecha es la imagen ya procesada en un elemento binario.

Los píxeles negros de la imagen binaria representan la cantidad de cielo visible; los blancos, la obstrucción de cielo asociada a la especie arbórea. De esta forma separamos las áreas de interés de la copa del árbol en dos elementos, píxeles blancos y píxeles negros.

Tras procesar la imagen, se realizó un conteo de píxeles blancos y negros a través del histograma de la imagen (Ilustración 31). El histograma nos permite conocer la cantidad de píxeles blanco y negro que tiene la imagen.

Posteriormente, se calcula la proporción de píxeles blanco en relación a la cantidad total de píxeles de la imagen. Este valor describirá la frondosidad para el sector árbol descrito por la fotografía. El proceso se repite para las cuatro imágenes y el valor de frondosidad global de la especie será la media de los cuatro valores anteriores.

Este valor de frondosidad se utilizará para el cálculo del **balance energético**, donde nos permite conocer cómo esta puede afectar este balance.

Se ha realizado el mismo procedimiento con cada una de las especies arbóreas evaluadas para de esta forma, obtener su valor de frondosidad y realizar el cálculo de balance energético de una persona bajo la copa del árbol de cada una de ellas.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Tomando la categorización de densidad de ramaje y densidad de sombra del Dr. Navés (Navés Viñas et al. 1995; Navés 2005), tenemos como resultado una división de tres categorías en base a la cantidad de píxeles estas son: ligera, media y densa, los rangos están expuestos en la Tabla 13.

Tabla 13 Categorías de frondosidad

Valor de pixel binario	Interpretación de pixel binario		Frondosidad	Porcentaje de paso	Interpretación
0	Negro	Cielo visible	-	-	-
1	Blanco	Árbol (Densidad de hojas)	0 - 0.40	1 - 0.60	ligera
			0.40 - 0.60	0.60 - 0.40	Media
			0.60 - 1	0.40 - 0	Densa

Fuente: Elaboración propia con base en Dr. Navés y Dr. Ochoa de la Torre.

2.1.2 Determinación de la densidad de la sombra del árbol.

Tras evaluar la frondosidad de la copa del árbol, se procedió a estudiar igualmente la sombra proyectada. Navés divide las especies por su tipología de sombra proyectada las cuales son sombra ligera, media o densa (Navés Viñas et al. 1995). La sombra proyectada por el árbol es un elemento que modifica los intercambios de energía de las superficies urbanas, pudiendo afectar al confort del usuario.

Para determinar la densidad de la sombra proyectada realizaremos el mismo procedimiento de procesamiento descrito en el apartado anterior. La metodología se basa en la observación y evaluación de las manchas de luz (píxeles negros) de la sombra proyectada.

Se utiliza el programa imageJ para lograr definir mejor las áreas de las manchas de luz. Según la cantidad y proporción de las manchas se determinara según la **evaluación visual** su densidad de sombra proyectada (Ilustración 33), de esta forma se rectifica el cálculo realizado de la toma fotográfica realizada de la copa del árbol. La sombra proyectada en base a la categoría ya realizada de la frondosidad la dividiremos en 5 categorías.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 33 Representación de las tipologías de sombras evaluadas.



Sombra proyectada ligera media

Sombra proyectada media densa

Sombra proyectada densa

Fuente: Elaboración propia con base en el programa ImagenJ

Tabla 14 Categoría por observación de sombra proyectada.

Categorías	Tipología de sombra
1	ligera
2	ligera media
3	media
4	media densa
5	densa

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Caracterización de la frondosidad.

Determinados la frondosidad y tipo de sombra proyectada de las especies arbóreas, se realiza una unificación de las dos evaluaciones para de esta forma determinar una frondosidad general, la cual está determinada por estas dos variables.

Tabla 15 Categorías de sombras proyectadas por la especie arbórea por su frondosidad

Categoría	Tipología de sombra	Frondosidad
1	Densidad de sombra ligera	0.20 - 0
2	Densidad de sombra ligera media	0.40 - 0.20
3	Densidad de sombra media	0.60 - 0.40
4	Densidad de sombra media densa	0.80 - 0.60
5	Densidad de sombra densa	1 - 0.80

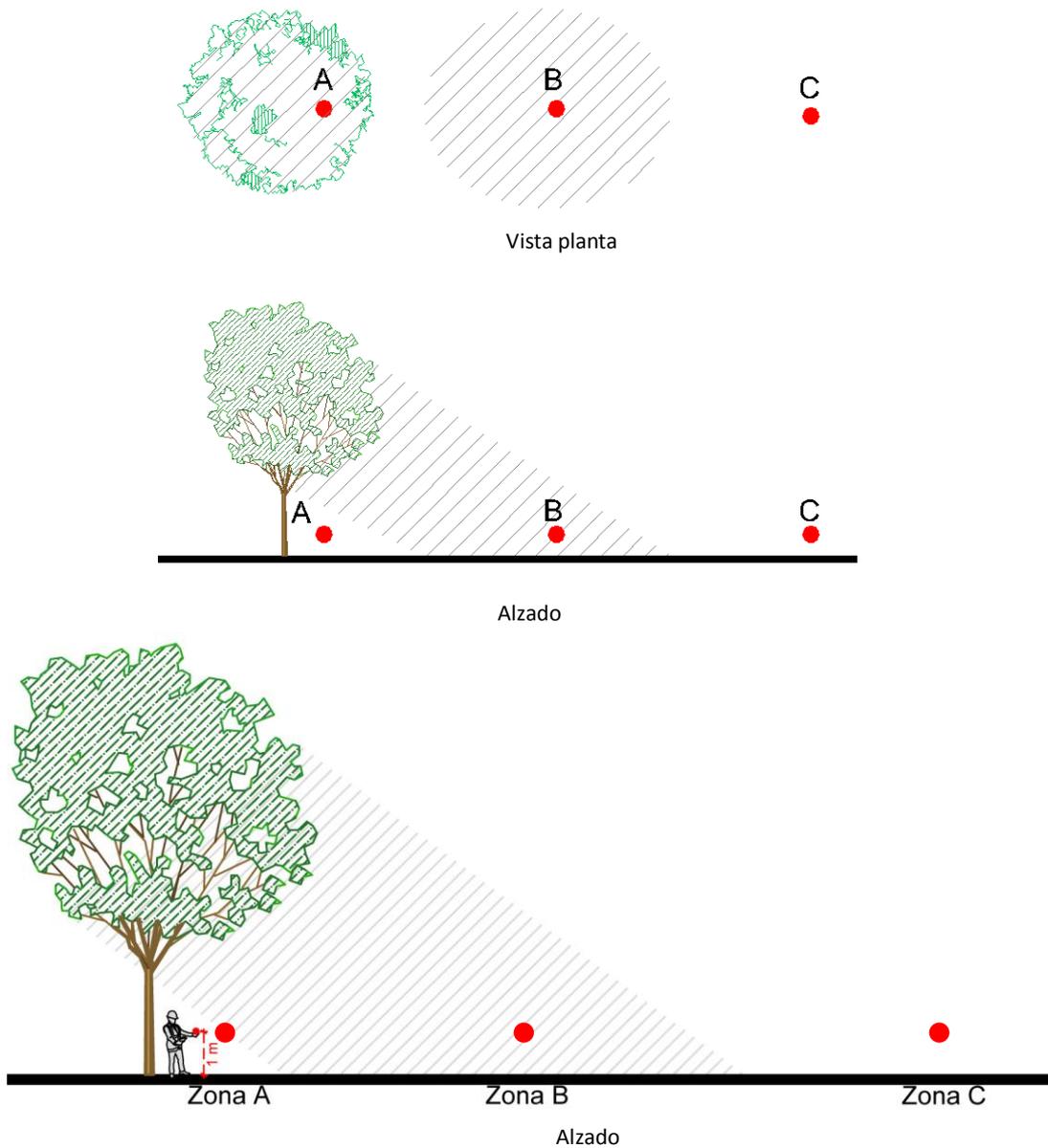
Fuente: Elaboración propia

2.2 Repercusión de la frondosidad en el espacio público.

Dos de los factores más afectados por la frondosidad arbórea es la radiación solar en plano horizontal y la temperatura radiante superficial del suelo. Para evaluar estas dos variables se realizaron mediciones in-situ en tres zonas.

Para el análisis de estas superficies urbanas y conocer las aportaciones de la frondosidad la metodología se divide en tres zonas (Ilustración 34):

Ilustración 34 Representación gráfica de las zonas de puntos de mediciones



Fuente: Elaboración propia

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Zona A es la superficie del suelo que está debajo de la copa del árbol. Su metodología será explicada en el apartado *Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo la proyección de la copa del árbol (Zona A)* que es la media de ocho puntos de mediciones de las temperaturas a lo largo del día. Esta zona siempre está cubierta por la copa del árbol, de manera que su intercambio térmico con el cielo depende de la frondosidad de la copa. Si su frondosidad es ligera el intercambio térmico es mayor, contrario a si su frondosidad es densa.

Zona B es la superficie del suelo donde se proyecta la sombra del árbol. Su metodología será explicada en el apartado *Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo la sombra (Zona B)*. Cabe destacar que la sombra proyectada no es estática por lo que el punto de medición se irá desplazando a lo largo del día.

Zona C es la superficie del suelo que no está expuesta a la copa del árbol, ni a la sombra proyectada, ósea sin obstrucción alguna en el transcurso del día. Nos permite evaluar el intercambio térmico en ausencia de la vegetación. Su metodología será explicada en el apartado *Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo el sol (Zona C)*.

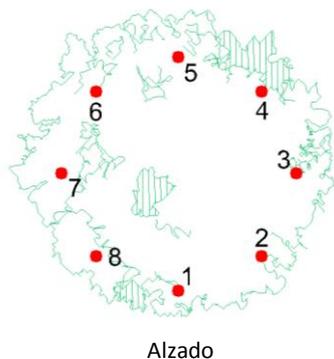
La evaluación de estos tres puntos de mediciones nos permite conocer el comportamiento de estas variables con la vegetación y en ausencia de ella. Estas mediciones se realizaron de manera puntual en tres horas durante el día estas horas son 7:00 hora solar, 11:00 hora solar y 15:00 hora solar. Se ha elegido realizar las mediciones invierno y verano para evaluar las especies arbóreas tanto caducifolias como perennes.

La instrumentación utilizada para medir la temperatura del aire y la humedad fue una sonda de Testo 175H1, para la velocidad y dirección del viento se utilizó el termo-anemómetro AZ8903, para la radiación solar se utilizó el piranómetro modelo TES 1333 Para la temperatura radiante se utilizó Fluke 561 y la cámara termo grafica Flir i7.

Para el desarrollo de la investigación las zonas que utilizaremos para el análisis del balance energético serán la zona A y C. Debido a que se registraron poca diferencia entre la zona A y la B.

2.2.1 Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo la proyección de la copa del árbol (Zona A)

Ilustración 35 Representación gráfica de los ocho puntos de mediciones bajo la copa del árbol



Fuente: Elaboración propia

Este análisis nos permite conocer la influencia de la frondosidad en cuanto a intercambio de temperatura radiante de la superficie del suelo con el ambiente. Para evaluar este comportamiento se realizaron mediciones de la temperatura radiante en ocho (8) puntos bajo la copa del árbol, así logramos evaluar cómo se comporta toda la zona de superficie del suelo bajo la copa de árbol durante el día (Ilustración 35).

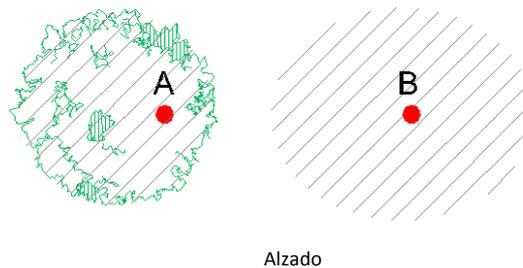
Se procedió a realizar una media de estos ocho (8) puntos para así obtener un valor de temperatura radiante media bajo la copa del árbol. Esta temperatura radiante media de la superficie del suelo bajo la copa del árbol la llamaremos de ahora en adelante Temperatura radiante A.

2.2.2 Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo la sombra (Zona B)

Este análisis nos permite conocer de forma cuantitativa qué efecto tiene la sombra proyectada de la especie arbórea en la temperatura radiante de la superficie del suelo y en la radiación solar en plano horizontal.

Las mediciones in situ realizadas en la zona B (Ilustración 36), se basó en la medición puntual en el centro de la sombra proyectada, de esta forma obtenemos un dato más exacto gracias al perímetro de sombra sobre la superficie.

Ilustración 36 Representación de las mediciones de la zona B



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Medición de la temperatura radiante del pavimento bajo el sol (Zona C)

Este análisis nos permite conocer el comportamiento térmico de la superficie del suelo durante el día en comparación a la obstruida por el árbol y por su sombra proyectada. Las mediciones in situ se realizaron en la zona C, estas mediciones fueron puntuales en tres horas durante todo el día (7:00, 11:00 y 15:00 hora solar).

2.2.4 Condiciones ambientales del entorno.

Las condiciones ambientales del entorno no se ven afectadas a micro escala por la vegetación pero si son variables de valor para el cálculo del balance energético. Por este motivo la toma de mediciones de las mismas son importantes. Se realizaron mediciones de la temperatura del aire (T_a), Humedad Relativa (HR), velocidad y dirección del viento (V).

a) Temperatura del aire y humedad relativa

La temperatura del aire y la humedad relativa son dos variables que influyen en el intercambio térmico del cuerpo a través de la convección y la transpiración.

La temperatura del aire es la temperatura que rodea al usuario. La diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de la piel es la que define el intercambio de calor que puede existir entre el individuo y el aire. Este intercambio se llama calor por convección.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

La *humedad relativa* es el contenido de vapor de agua que tiene el aire. El cuerpo humano utiliza el mecanismo de transpiración para eliminar calor del cuerpo, aquí entra el rol de la humedad en el aire. Cuanta mayor agua contenga el aire menor será el nivel de transpiración del cuerpo.

La instrumentación utilizada para medir la temperatura del aire y la humedad fue una sonda de Testo 175H1.

b) Velocidad y dirección del viento

La velocidad y dirección del viento interviene de forma directa al balance energético y sensación térmica. Según su velocidad existirá más o menos renovación de aire y aumentará o disminuirá la evaporación del sudor.

La instrumentación utilizada para medir la velocidad y dirección del viento se utilizó el termómetro AZ8903.

Las mediciones de estas tres variables, se incluirán en el cálculo del balance energético, para de esta forma evaluar la convección, la transpiración y la evaporación a través del sudor (ERGA 2007).

2.3 Evaluación del efecto de la especie arbórea sobre el confort humano.

Para la evaluación de los datos recolectados y conocer la aportación de cada especie arbórea en el ámbito urbano, utilizaremos un modelo de evaluación del Balance Energético. En este caso será el modelo de balance energético implementado por el Dr. Ochoa de la Torre en el año 1999 en su tesis doctoral. El Balance Energético se clasifica como un índice analítico (Ochoa de la Torre 1999, 2009) (anexo 1). La fórmula del Balance energético de Ochoa de la Torre es la siguiente:

$$B = M + R_a \pm C - E - R_e$$

Para el desarrollo de esta tesis doctoral se realizaron algunas aportaciones en el modelo en la variable de la radiación solar y de onda larga absorbida (R_a). Para ver desglosado el modelo de cálculo, ver anexo 1. Este capítulo describirá dicha aportación, incluyendo los factores geométricos y físicos de la especie arbórea y las modificaciones introducidas a la hora de considerar el R_a . Se ha valorado más el parámetro de la radiación solar absorbida (R_a) debido a que es uno de los parámetros del cálculo del confort térmico más afectado por la frondosidad y transmisividad de una especie arbórea. Logrando a través del mismo conocer como cada especie según sus diferentes frondosidades puede variar el estado de confort térmico de un usuario y la disminución de la temperatura radiante.

$$B = M + R_a \pm C - E - R_e$$

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

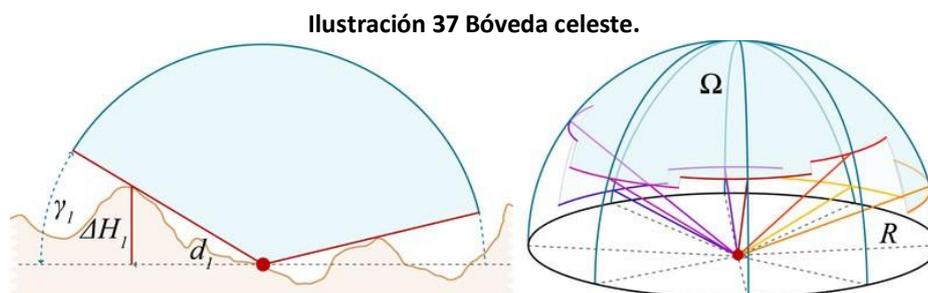
El árbol puede influir simultáneamente en diversas variables: la radiación de onda larga, radiación de onda corta, en la evaporación, en la transpiración y otros factores. Para este caso de estudio se han considerado dos variables de ellas: factor geométrico y factor físico.

Factor geométrico del árbol: es la capacidad de obstrucción del árbol, ósea el factor de vista del árbol (Tree view factor (Tvf)).

Factor físico del árbol: es la frondosidad de la especie arbórea (capacidad del árbol de filtrar la radiación solar). En la formula Ochoa de la Torre lo denomina *Transmisividad* (t) como explicamos anteriormente, actualizaremos este término como frondosidad ya que la misma es inversamente proporcional a la transmisividad.

Factor geométrico del árbol.

El Sky view factor (factor de vista de cielo) podemos definirlo como la fracción o bóveda celeste que podemos ver en un determinado punto. Es utilizado en los esquemas para determinar de forma cuantitativa la amplitud de un cañón urbano o terreno. Este parámetro se interpreta siendo 1 un lugar sin obstrucciones (valor máximo) y 0 un lugar cerrado al ambiente con mayor obstrucción (Valor mínimo) (Brown, Grimmond y Ratti 2001) (Ochoa de la Torre 2009) (Wang y Akbari 2014)(Ilustración 37).



Fuente: Artículo "Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique", autores Klemen Zakšek, Kristof Oštir and Žiga Kokalj.

A través del Svfv se obtiene con cálculos geométricos que porción de radiación de onda larga y onda corta puede recibir una persona en determinado punto en el cañón urbano, contando como obstrucciones aquellos elementos que reducen esta porción de cielo, por ejemplo edificios, árboles, toldos, etc.

Existe una relación demostrada entre el Svfv y las temperaturas superficiales de un cañón urbano, bien conocido como Isla de calor urbano superficial (ICUS). Este fenómeno explica que a mayor Svfv mayor incidencia de radiación de onda corta pero también mayores pérdidas por intercambio radiactivo en onda larga con el cielo.

Por contra, a menor Svfv menor será la radiación incidente en onda corta y, menor enfriamiento radiactivo hacia el cielo. Así, el Svfv es una de las herramientas de mayor uso para estudios y evaluaciones referente a las ICU⁴ y ICUS.

⁴ Isla de calor urbano (ICU): Urban Heat Island (UHI)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

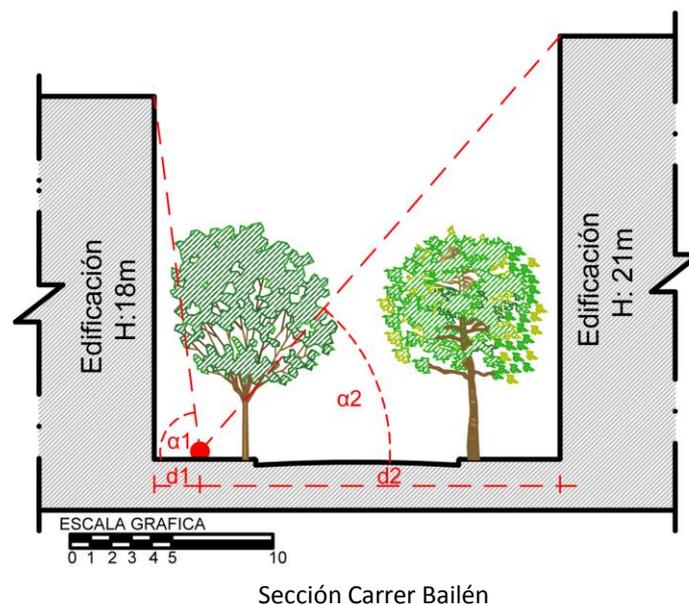
El S_{vf} está incorporado en la fórmula del Balance Energético, ya que juega un papel importante en los intercambios radiativos del usuario con su medio. La fórmula que utilizaremos para la evaluación del S_{vf} será la implementada por Oke, donde asumimos que la calle es infinitamente larga de dos direcciones (Oke 1988)(Ilustración 38)

$$S_{vf} = 1 - (B_{vf_1} + B_{vf_2})$$

$$B_{vf} = d / (2 * (d^2 + h_b^2))$$

Donde 1 es la relación de la bóveda celeste, B_{vf} es el Building View factor (Factor vista del edificio), d es el diámetro y h la altura del edificio, desde el punto de medición.

Ilustración 38 Configuración geométrica de una calle.



Fuente: Elaboración propia.

Obtenido el S_{vf} , esta variable se relacionará con otras en las ecuaciones para obtener los valores determinados que permitan el cálculo del Balance Energético.

A raíz de esto definiremos el *Tree view factor* (T_{vf}), es el factor de obstrucción generado por la vegetación. El parámetro del T_{vf} , nos permite restar algunas variables del modelo de cálculo, de manera que nos permita conocer la influencia de la obstrucción del cielo por parte de la vegetación.

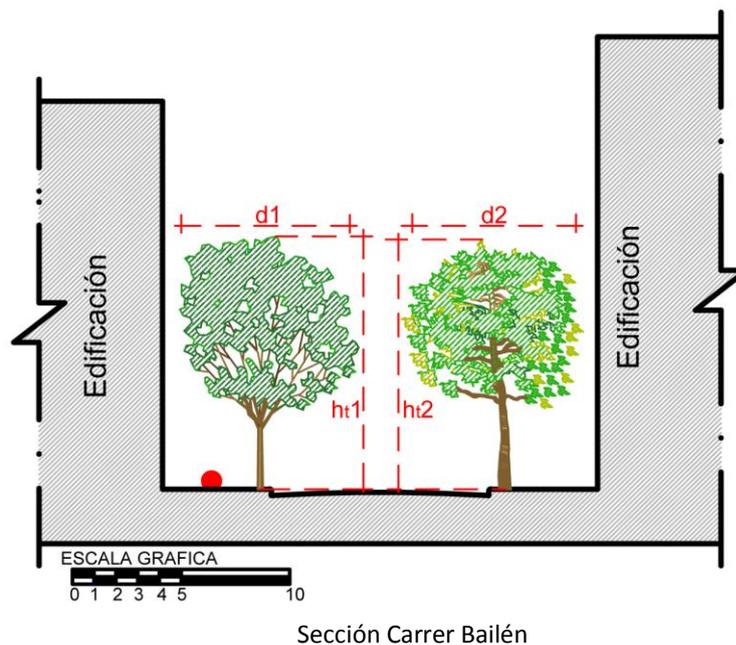
Introducimos así una evaluación de forma más profunda del efecto de la vegetación sobre el confort térmico, teniendo en cuenta las obstrucciones que la misma genera tanto para recibir radiación incidente como para el intercambio térmico de las superficies del suelo con el cielo.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Para obtener el T_{vf} , repetiremos el proceso descrito para el S_{vf} , pero introduciendo el diámetro de la copa del árbol (d) y la altura del árbol (h_t) en la fórmula (Ilustración 39).

$$T_{vf} = d / (2 * (vd^2 + h_t^2))$$

Ilustración 39 Relación del árbol con el medio ambiente y dimensiones de cada especie.



Sección Carrer Bailén

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera podemos conocer qué porcentaje de obstrucción genera el árbol en la bóveda celeste. Dentro de esta variable se conjugaran otros elementos que nos permite conocer de ese porcentaje de obstrucción cuanto permite filtrar que es la frondosidad, la cual incluiremos en el factor físico del árbol.

Factor físico del árbol.

El factor físico del árbol se describirá a través del parámetro de frondosidad. La metodología que utilizamos para la evaluación de la frondosidad fue explicada anteriormente en el apartado *Caracterización de la especie arbórea por su frondosidad*.

Obtenido este valor de frondosidad se utilizará en la fórmula del balance energético en la variable de **Radiación térmica recibida por una persona en espacios exteriores (R_a)**, donde se evalúa la radiación de onda larga y de onda corta.

2.3.1 Modificación del término R_a en la fórmula del Balance energético

Esta radiación absorbida por una persona (R_a) consta de dos variables: la radiación solar de onda corta absorbida (K_{abs}) y la radiación de onda larga absorbida por la persona (L_{abs}), tal como muestra la siguiente ecuación:

$$R_a = K_{abs} + L_{abs}$$

a. Radiación solar de onda corta (K_{abs})(visible)

Es la radiación de onda larga recibida desde el hemisferio del cielo, cuyo valor será:

$$K_{abs} = (T + 1/2 (D + S + R)) * (1-A)$$

Donde T es la radiación solar directa transmitida por el follaje de la vegetación; D es la radiación solar difusa, no reflejada; S es la radiación difusa reflejada por la vegetación y otros objetos en el espacio, R es la radiación reflejada por el suelo y A es el albedo de la persona.

La radiación solar directa transmitida (T) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T = (((K - K_d)/\tan e)/\pi) * t$$

Donde K es la radiación solar global en plano horizontal, K_d es la radiación difusa, e es la altura solar⁵, t es la frondosidad del árbol u objetos ubicados entre el sol y la persona. En el caso de la frondosidad del árbol (t) se utilizara el valor obtenido de la metodología explicada anteriormente.

La radiación difusa (D) que recibe la persona (en condiciones de cielo despejado) se estima:

$$D = K_d * S_{vf}$$

En este caso de estudio se estima el Sky View Factor (S_{vf}) como una calle infinitamente larga. Se obtiene el S_{vf} con la siguiente ecuación:

$$S_{vf} = 1 - (B_{vf1} + B_{vf2})$$

Donde B_{vf} es el Building view factor (Factor de vista del edificio), que es la porción de cielo que cubre el edificio. Para obtener el B_{vf} se utiliza la siguiente ecuación:

$$B_{vf} = d/(2 * (\sqrt{d^2 + h^2}))$$

⁵ En las mediciones de invierno, la hora de medición será a partir de las 7:30h solar, debido a que la altura solar antes de esta hora es muy baja y el modelo matemático no percata este fenómeno natural.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

La radiación difusa reflejada (S) por los objetos en el hemisferio celeste sobre la persona, se puede obtener:

$$S = (K_d * (1 - S_{vf}) * A_o)$$

La radiación solar reflejada (R) del suelo sobre la persona, se puede obtener:

$$R = K * t * A_s$$

Donde K es la radiación solar global; t es la frondosidad del árbol o objetos que estén entre el sol y el punto que refleje la radiación sobre la persona; A_s es el albedo de los objetos, el albedo para suelos oscuros es de 0.09 (9%) y colores claros limpios 0.9 (90%). Estos valores se pueden obtener en el anexo 2.

b. Radiación solar de onda larga (L_{abs})(no visible)

La radiación de onda larga absorbida por una persona es valorada como las R_{abs} . Su ecuación es la siguiente:

$$L_{abs} = ((0.5 * (V + F)) + (0.50 * G)) * (1 - A)$$

Donde V es la radiación onda larga recibida de la bóveda celeste, F es la radiación recibida por los objetos ubicados en el horizonte, G es la emitida por la superficie del suelo y A es el albedo de la persona.

La radiación infrarroja recibida de la bóveda celeste (V) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V = L * SVF$$

$$L = (1.2 * (5.67 * 10^{-8}) * T_a^4) - 171$$

Donde L es la radiación emitida por el cielo. Para esta ecuación la variable a modificar será el SVF ya que en el mismo está incluido lo que cubre la vegetación en esta parte de cielo visible. En la ecuación que proponemos el S_{vf} total tendrá dos términos. En primer lugar, lo transmitido a través del árbol $T_{vf} * t$ y en segundo lugar el S_{vf} que se utilizara en esta ecuación que sería igual al $S_{vf} - T_{vf}$. Visto en la formula sería:

$$S_{vf} \text{ total} = t * T_{vf} + (S_{vf} - T_{vf})$$

Dando como resultado final la ecuación siguiente:

$$V = L * SVF_{total}$$

$$SVF_{total} = SVF - (T_{vf} * (1-t))$$

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Se realiza la aportación del efecto producido por el Tree view factor (Tvf) y la frondosidad del árbol (t). De esta manera se ha considerado que de la radiación infrarroja que es recibida por la bóveda celeste, una porción de la misma es afectada por la frondosidad de la copa del árbol. La radiación que emite los objetos del hemisferio del cielo (F), su ecuación es:

$$F = (E_o * (5.67 * 10^{-8}) * T_o^4) * (1 - Svf)$$

En esta ecuación se han incluido las variables de todos los objetos del entorno (edificio y árboles). Esta ecuación toma en cuenta el cañón urbano como un elemento infinito. Tomando la ecuación inicial se han agregado todas las variables temperatura de cada objeto. En algunos casos la temperatura del árbol sería la misma que la temperatura del aire. Dentro del Tvf se considera su valor de frondosidad por este motivo para este caso lo llamaremos Tvf' (Tree view factor prima)

$$F = [E_o * (5.67 * 10^{-8}) * (Bvf_1 * T_{e1}^4) + (Tvf'_1 * T_{a1}^4) + ((Bvf_2 - Tvf'_2) * T_{e2}^4) + (Tvf'_2 * T_{a2}^4) + ((t_2 * Tvf'_2) * T_{e2}^4)]$$

Donde el
 $Tvf' = Tvf * (1-t)$

Donde T_o es la temperatura de cada objeto, Bvf es la Building view factor, Tvf es Tree view factor, T_e es la temperatura del edificio y T_a la temperatura del aire.

La radiación emitida por el suelo (G) su ecuación es:

$$G = (EG * (5.67 * 10^{-8}) * T_g^4)$$

La emitancia de la superficie la mayoría de las superficies urbanas, elementos constructivos y vegetación se considera 0.98 (98%)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Casos de Estudio

3 Casos de estudio. Barcelona, España.

Se han escogido tres (3) especies arbóreas utilizadas en las calles de Barcelona y en tres modelos distintos de frondosidad para el caso del estudio, que están distribuidas en diferentes entornos urbanos de la ciudad de Barcelona, España. Los escenarios tienen la características en común de estar ubicadas en espacios urbanos de gran amplitud de cañón urbano, logrando que en el transcurso del día no afecte la sombra proyectada de algún edificio.

Para realizar el análisis del efecto de la frondosidad en el confort térmico, se han elegido tres tipos de especies arbóreas, donde se asocia como frondosidad ligera la especie arbórea Parkinsonia (*Parkinsonia aculeata*), de frondosidad media el Plátano de sombra (*Platanus x hispánica*) y la frondosidad densa a la Encina (*Quercus ilex*). Los tipos de pavimentos de los casos de estudio fueron la cerámica y el asfalto.

Se eligió Barcelona como caso de estudio, debido a que es una ciudad que ejemplifica la utilización de la vegetación, como herramienta de mitigación de la radiación solar y la diversidad de especies arbóreas que utiliza en ámbito urbano. Las zonas de mediciones se realizaron en el distrito de la Dreta de l'Eixample, de Barcelona.

Tabla 16 Resumen de los casos de estudio.

Frondosidad	Especie arbórea		Localización
	Nombre científico	Nombre común	
Ligera	<i>Parkinsonia aculeata</i>	parkinsonia	Plaza Universitat
Media	<i>Platanus x hispánica</i>	plátano de sombra	Av. Diagonal con Pl. de Joan Carles I
Densa	<i>Quercus ilex</i>	encina	Av. Diagonal con Carrer Roger Llúria

Fuente: Elaboración propia.

3.1 Frondosidad ligera. *Parkinsonia Aculeata* (Parkinsonia)

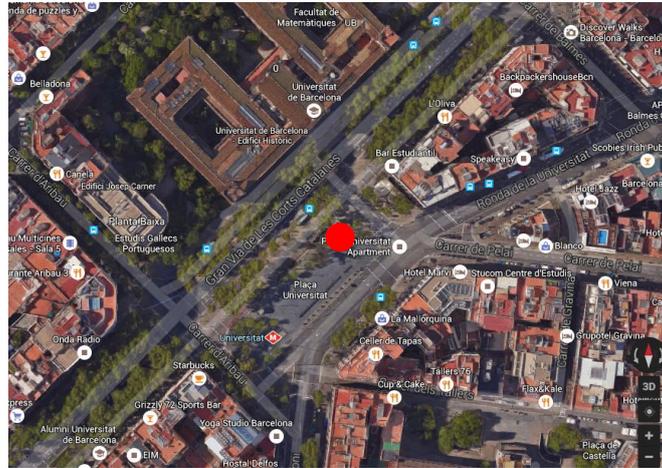
Localización

Localizada en Plaza Universitat, la cual está delimitada por Gran Vía de les Corts Catalanes y Carrer d'Aribau. El pavimento de la plaza es de baldosa.

Se seleccionó este punto para el análisis, debido a su morfología urbana que permite la incidencia solar en el transcurso del día a la especie arbórea y por el nivel de flujo de personas de tránsito/estancia (Ilustración 40).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Ilustración 40 Localización del punto de análisis. Plaza Universitat



Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps.

Características de la especie arbórea

La *Parkinsonia aculeata* conocida por su nombre común parkinsonia pertenece a la familia de las Leguminosas Cesalpinióideas Fabaceae (Ilustración 41).

Su origen es de suroeste de Estados Unidos, México y Sudamérica. De zonas desérticas y subtropicales. Es una especie de zona climática de Bosques secos y sabanas naturales (2A) y semidesiertos calurosos y desiertos (3) (Navés Viñas et al. 1995).

Ilustración 41 Especie arbórea *Parkinsonia aculeata*, Plaza Universitat.



Fuente: Elaboración propia

Es una especie arbórea caducifolia. Su época de foliación es a finales de la primavera. Florece entre los meses de Julio a agosto. Su altura está entre los rangos de 4 - 8m se denomina como una especie de tamaño pequeño y con un diámetro de copa entre 4 - 8m. Sus características estructurales la definen como una especie arbórea de forma extendida, de ramaje colgante

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

irregular y una densidad de ramaje media. Las características morfológicas vegetal se puede definir como una especie de hoja de tamaño grande, con un tamaño de 30cm, de hojas color verde claro y lisa.

En la ciudad de Barcelona esta especie arbórea es utilizada en el ámbito urbano como elemento ornamental en parques y plazas. En este caso de estudio elegimos la especie arbórea ubicada en Plaza Universitat, es muy usada por las personas como espacio urbano de estancia en invierno y en verano menor por ser un árbol de sombra ligera poco protectora. Su uso principal es de área espera ya que es una zona de alto tránsito urbano de peatones como vehicular.

Se evaluaron las características estructurales, morfológicas, frondosidad y la sombra proyectada para de esta forma determinar el confort producido por esta especie arbórea (Tabla 17)

Tabla 17 Resumen de las características de la especie arbórea *Parkinsonia aculeata* de Plaza universitat

Ubicación				
Barcelona	Dreta d'Eixample		Plaza Universitat	
Ciudad	Distrito		Lugar	
Especie arbórea				
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Parquinsònia		Parkinsonia	
Científico	Catalán		Castellano	
Características Estructurales				
Extendida	Colgante irregular		Media	
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje	
Características morfología vegetal				
Compuestas pinnadas	Caducifolia	Verde claro	Lisa	G (30)
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)
Dimensiones de la especie arbórea				
6.35 m	7.50 m	128 m ³	47	
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)	

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Caracterización de la frondosidad

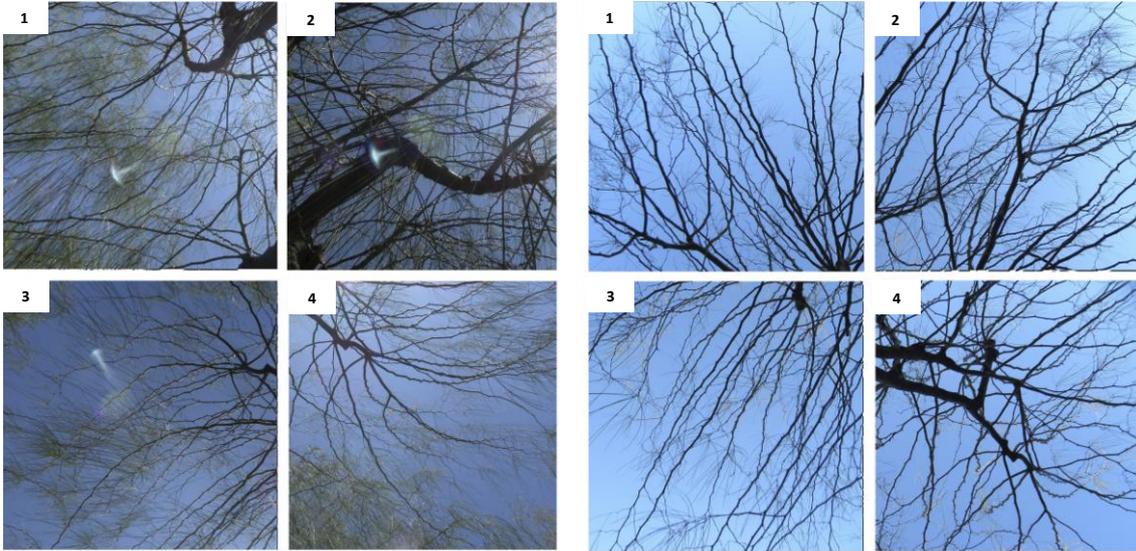
Copa del árbol

En el análisis de la frondosidad se realizaron cuatro tomas fotográficas en verano del 2015 e invierno del 2016 (Ilustración 42), para evaluar el comportamiento de la especie en dos condiciones ambientales diferentes y extremas. Luego fueron procesadas en el programa ImagenJ.

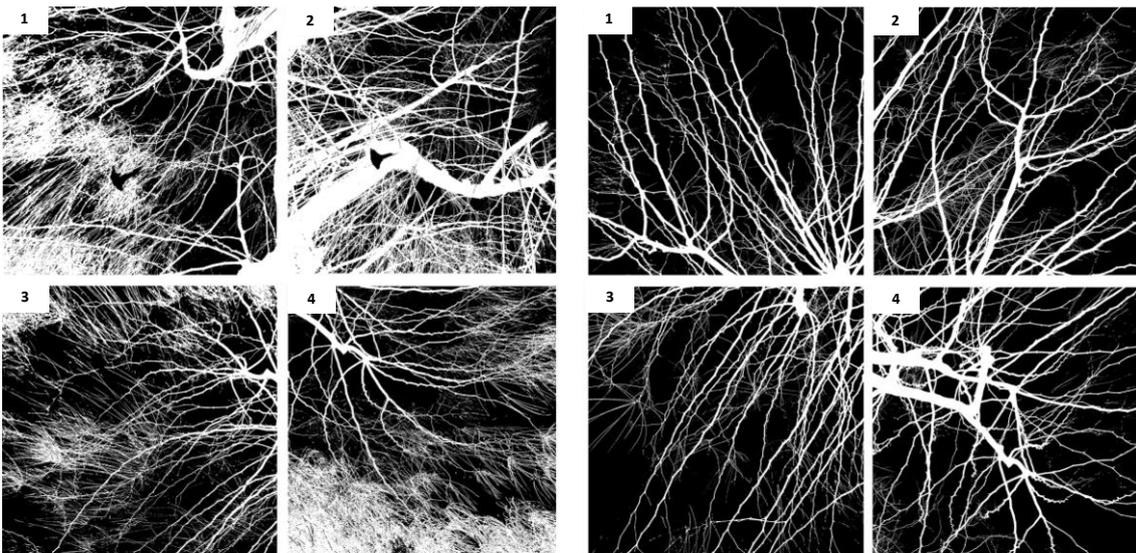
En la Ilustración 42, se puede apreciar los resultados obtenidos del procesamiento de imágenes. Debido a las características estructurales de la Parkinsonia se observa en la ilustración la irregularidad en su ramaje y la composición de sus hojas compuestas pinnadas (hilos).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 42 Análisis de frondosidad de la *Parkinsonia aculeata* en verano 2015 e invierno 2016



Originales



Verano 2015

Invierno 2016

Fuente: Elaboración propia.

En verano del 2015, la especie arbórea se encuentra en su estado de floración y mayor densidad de hojas, por este motivo se logra ver esta disposición de hilos (sus hojas) que nacen de las ramas. Debido a la forma lineal de sus hojas no logran cubrir una gran porción de cielo en verano.

En invierno del 2016, la Parkinsonia ya ha perdido completamente sus hojas, se observa solamente las características del ramaje irregular. En ambos escenarios con hojas y sin hojas la proporción de cielo visible es casi similar, por lo que su frondosidad no difiere mucho entre estaciones del año.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

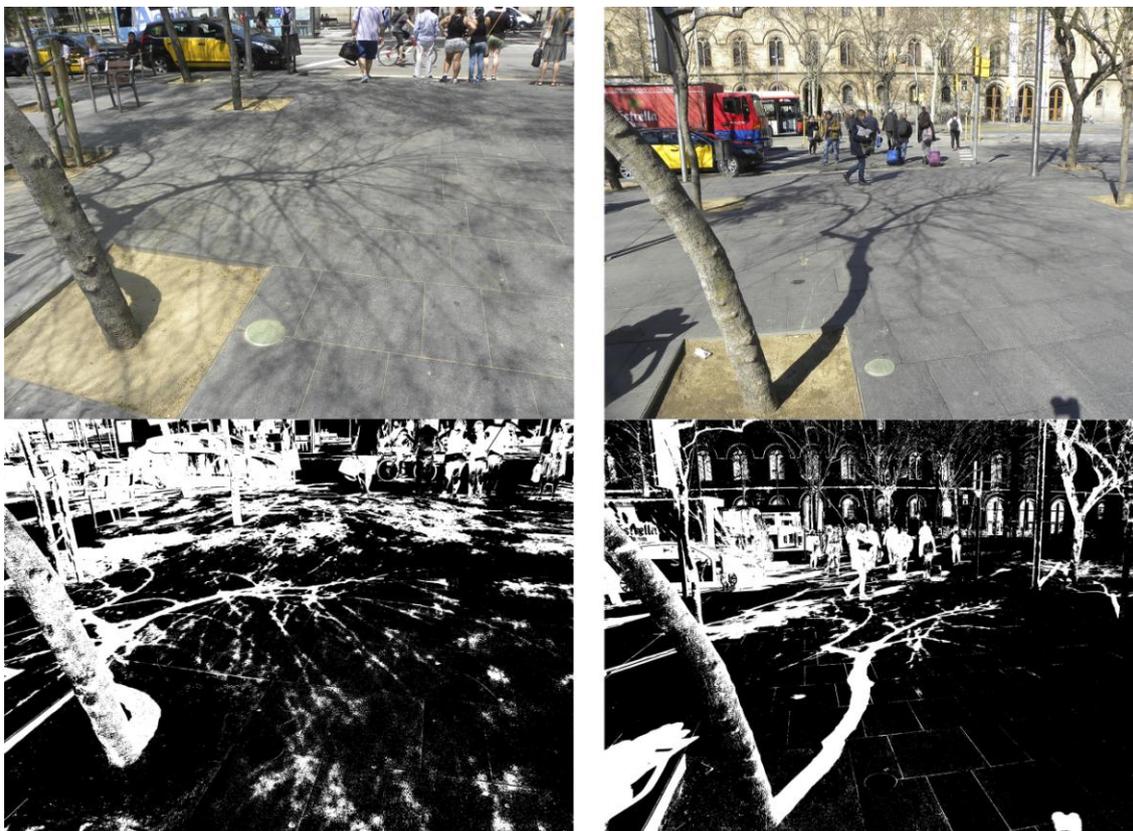
Los resultados obtenidos en verano del 2015 es una frondosidad de 0.30 permitiendo el paso de la radiación solar de un 70% en verano. En invierno del 2016 su frondosidad es de 0.20 permitiendo el paso de la radiación solar de un 80%. Entre verano e invierno existe una diferencia de un 13% de protección, es debido a su tipología de hojas. Cabe destacar que aunque su frondosidad no sea elevada logra disminuir un 13% de cielo visible.

Sombra proyectada

Evaluamos la sombra proyectada para observar que tanto logra proteger esta frondosidad a las superficies urbanas. Se utilizará la misma metodología de evaluación de imágenes con el programa ImageJ. Se puede apreciar en la Ilustración 43, que la sombra proyectada en verano del 2015 e invierno del 2016 por la Parkinsonia a las 11 horas solares.

Procesada las imágenes se puede observar que sus hojas y su ramaje no logran crear una sombra determinante que pueda proteger un gran porcentaje de la superficie del suelo.

Ilustración 43 Análisis sombra proyectada de la especie *Parkinsonia aculeata* en verano e invierno



Verano 2015

Invierno 2016

Fuente: Elaboración propia.

Concluimos que el tipo de sombra de la Parkinsonia es ligera media por su baja densidad de sombra poco protectora de las superficies urbanas, por su frondosidad de 0.30 en verano y de 0.20 en invierno. Dando como resultado grandes aportaciones de temperatura radiante a las superficies del suelo.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Luego de realizado el análisis se ha procedido a realizar una tabla donde se resume los detalles de mayor valor de la especie arbórea. En esta tabla se desglosa: la ubicación, tipología de especie arbórea, características estructurales, morfológicas vegetal, dimensiones y frondosidad (Tabla 18). Estos datos serán utilizados en el cálculo del balance energético junto con los datos de mediciones in-situ.

**Tabla 18 Resumen de las características de la especie arbórea *Parkinsonia aculeata*
de Plaza universitat**

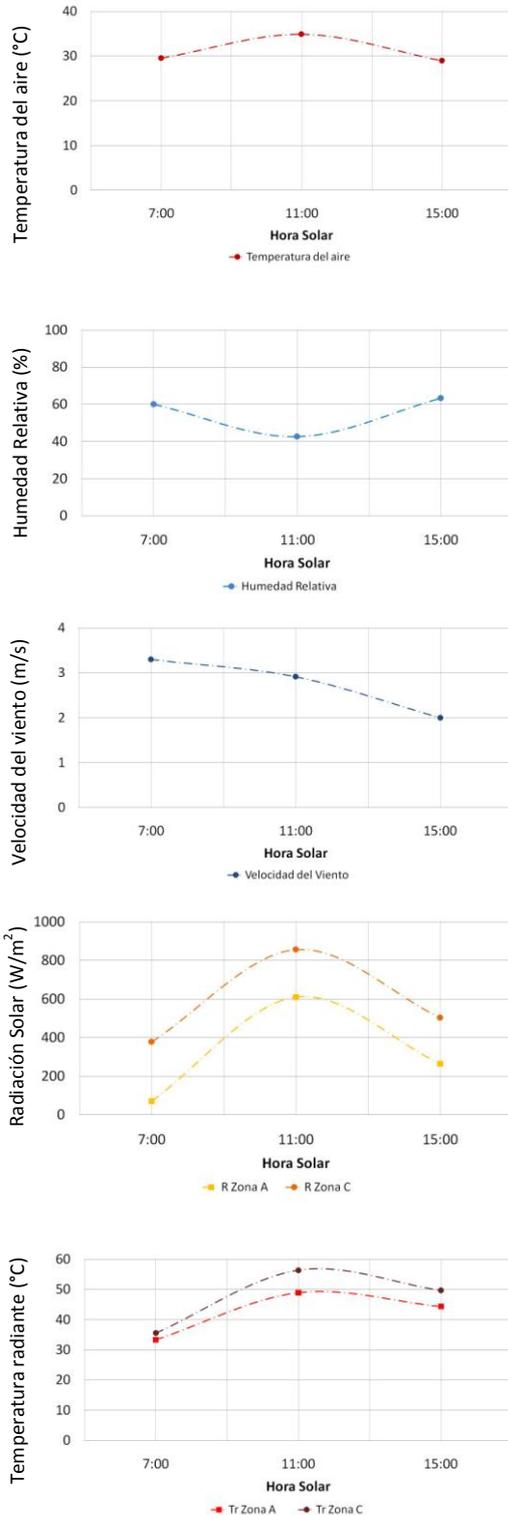
Ubicación					
Barcelona		Dreta d'Eixample		Plaza Universitat	
Ciudad		Distrito		Lugar	
Especie arbórea					
<i>Parkinsonia aculeata</i>		Parkinsonia		Parkinsonia	
Científico		Catalán		Castellano	
Características Estructurales					
Extendida		Colgante irregular		Ligera	
Forma		Ramaje		Densidad de ramaje	
Características morfológica vegetal					
Compuestas pinnadas		Caducifolia		Verde claro	
Lisa		G (30)			
Tipo hoja		Color		Textura	
Tamaño (cm)					
Dimensiones de la especie arbórea					
6.35 m		7.50 m		128 m ³	
Altura		Diámetro		Volumen	
Tronco (cm)					
Frondosidad					
Verano			Invierno		
0.30		Ligera media		70%	
0.20		Ligera media		80%	
Frondosidad		Sombra proyectada		Permite	
Frondosidad		Sombra proyectada		Permite	

Fuente: Elaboración propia

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

3.1.2 Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales

Ilustración 44 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea *Parkinsonia aculeata*



Fuente: Elaboración propia.

Mediciones in-situ en verano del 2015

Las mediciones de verano se realizaron el 17 de Julio del 2015. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 44). La temperatura del aire en el transcurso del día estuvo entre el rango de 29 a 35°C, por lo que fue un día caluroso de verano.

La humedad relativa estuvo en rangos de 43 a 63%, la cual disminuyo en respuesta al aumento de temperatura del aire en el transcurso del día.

La velocidad del viento fue constante en la mañana y medio día, en la tarde la velocidad fue menor. Esta plaza debido a su configuración se ve favorecida por su ubicación y morfología urbana porque recibe los vientos de todas las direcciones.

En estos parámetros ambientales la parkinsonia no logra un gran cambio ya que para lograr modificaciones apreciables en la Ta, HR y V debe existir una mayor densidad de árboles.

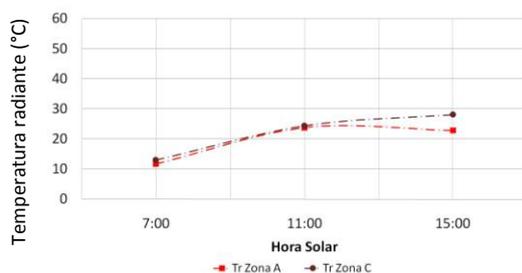
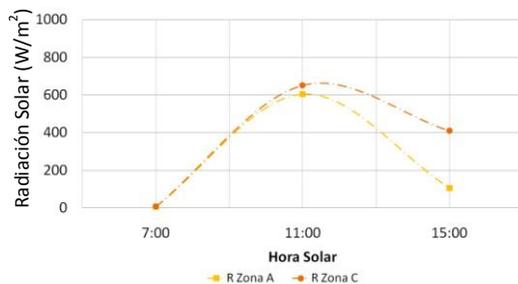
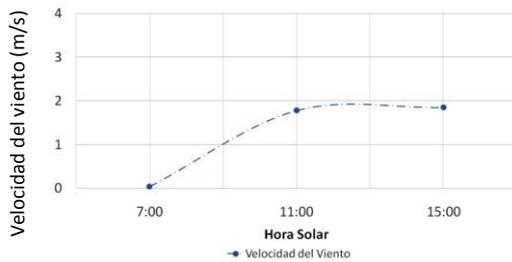
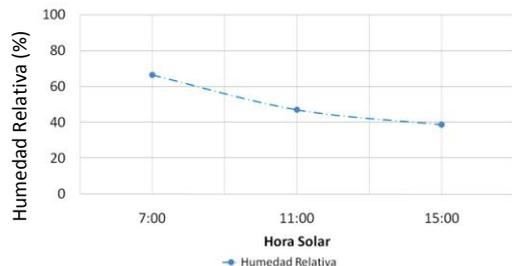
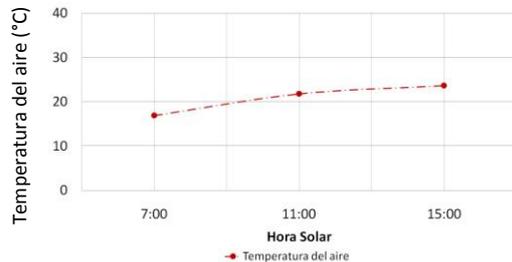
La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte de la vegetación. Aunque la especie tenga una sombra proyectada ligera media que permite el paso de un 70% y con una frondosidad de 0.30 ha logrado apreciables aportes.

En la radiación solar la parkinsonia logro disminuir entre 239 a 307W/m² y en la temperatura radiante logro disminuir entre 2 a 7°C en el transcurso del día. Estos resultados se pueden apreciar en las imágenes infrarrojas realiza, se puede ver como la sombra proyectada logra proteger y variar la temperatura radiante en el transcurso del día.

Esta disminución en la radiación solar y en la temperatura radiante se transforma en menos aportaciones al ambiente y a la persona.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Ilustración 45 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea Parkinsonia aculeata



Fuente: Elaboración propia.

Mediciones in-situ en invierno del 2016

Las mediciones de invierno se realizaron el 13 de Febrero del 2016. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 45). En la temperatura del aire se registró valores de 17 a 24°C, dando como resultado un día frío moderado.

En la humedad relativa se registró valores de 39 a 67% de humedad, disminuyendo cuando la humedad relativa aumentado.

En la velocidad el viento en la plaza durante la mañana fue muy mínimo registrando valores de 0.04m/s pero aumento en el transcurso del día llegando a registrar 2 m/s.

La parkinsonia no logro ningún cambio en la Ta, HR y V, por los motivos ya explicados anteriormente.

La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte del ramaje. Aunque la especie tenga una sombra proyectada muy ligera que permite el paso de un 80% y con una frondosidad de 0.20 ha logrado apreciables aportes.

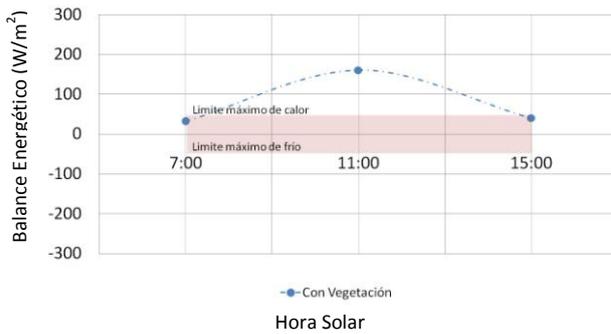
En la radiación solar la parkinsonia logro disminuir entre 1 a 304W/m² y la temperatura radiante logro disminuir entre 1 a 5°C en el transcurso del día. Estos resultados se pueden apreciar en las imágenes infrarrojas realiza, se puede apreciar como la sombra proyectada logra proteger y variar la temperatura radiante en el transcurso del día.

Los resultados obtenidos en invierno se refleja que la parkinsonia no logra a gran escala disminuir la radiación solar y la temperatura radiantes. Al ser caducifolia, en invierno ya no tienes sus hojas y el ramaje no es lo suficientemente para lograr grandes cambios.

3.1.3 Evaluación del confort humano.

Para la evaluación del confort se ha utilizado la fórmula del balance energético de (Ochoa de la Torre 1999)(Ochoa de la Torre 2009)(Anexo 1) se utilizaron las mediciones in-situ y la frondosidad para conocer el intercambio térmico de una persona bajo la copa del árbol.

Ilustración 46 Balance Energético producido por la Parkinsonia aculeata en Verano 2015

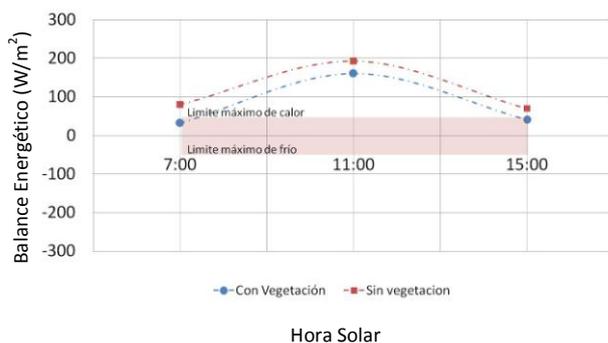


Fuente: Elaboración propia.

A las 7:00 hora solar el balance energético es de 32 W/m^2 y a las 15:00 hora solar es de 40 W/m^2 , quiere decir que la persona está en confort casi llegando a los umbrales de calor. A las 11:00 hora solar el balance asciende a 160 W/m^2 , quiere decir que la persona estaba en estado caluroso.

La parkinsonia ofrece un mínimo de confort en el transcurso del día, ya que está próximo a los umbral máximo de calor a las 7:00 y 15:00, en el medio día las personas se encuentran en un estado de disconfort debido a su frondosidad ligera.

Ilustración 47 Balance Energético en ausencia de la vegetación verano 2015



Fuente: Elaboración propia.

A las 7:00 hora solar el balance energético es de 80 W/m^2 y a las 15:00 hora solar es de 70 W/m^2 , quiere decir que la persona se encuentra ligeramente caluroso. A las 11:00 hora solar es de 193 W/m^2 , quiere decir que la persona está calurosa, en estrés térmico.

El balance energético de una persona en el día, en ausencia de la parkinsonia es siempre mayor a los umbrales de confort, estando en un estado constante de calor. Aunque la frondosidad de la parkinsonia sea ligera, logra crear estados de confort a horas de la mañana y de la tarde.

El balance energético producido por la parkinsonia en verano del 2015 se proyectó en un rango de 32 a 160 W/m^2 (Ilustración 46).

En estos resultados se puede apreciar que al disminuir la radiación solar en un rango de 239 a 307 W/m^2 y en la temperatura radiante en un rango de 2 a 7°C en el transcurso del día, puede lograr mejoras en el confort de una persona.

A las 7:00 hora solar el balance energético es de 32 W/m^2 y a las 15:00 hora solar es de 40 W/m^2 , quiere decir que la persona está en confort casi llegando a los umbrales de calor. A las 11:00 hora solar el balance asciende a 160 W/m^2 , quiere decir que la persona estaba en estado caluroso.

Para evaluar la aportaciones que logra la parkinsonia, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 47).

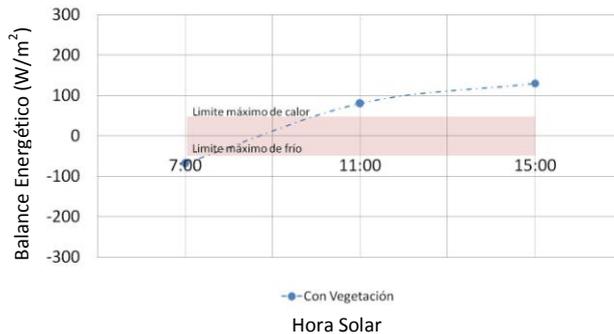
El balance energético producido en ausencia de la parkinsonia en verano del 2015 se proyectó en un rango de 70 a 193 W/m^2 .

A las 7:00 hora solar el balance energético es de 80 W/m^2 y a las 15:00 hora solar es de 70 W/m^2 , quiere decir que la persona se encuentra ligeramente caluroso. A las 11:00 hora solar es de 193 W/m^2 , quiere decir que la persona está calurosa, en estrés térmico.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Se realizaron los mismos cálculos pero en invierno del 2016, para conocer la influencia del ramaje en las condiciones ambientales y en el balance energético. El balance energético en invierno producido por la *Parkinsonia* se proyectó en un rango de -63 a 130 W/m^2 (Ilustración 48). En estos resultados se puede apreciar que al disminuir la radiación solar en un rango de 1 a 304 W/m^2 y en la temperatura radiante en un rango de 1 a 5°C en el transcurso del día puede lograr mejoras en el confort térmico de una persona.

Ilustración 48 Balance Energético producido por la *Parkinsonia aculeata* en Invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

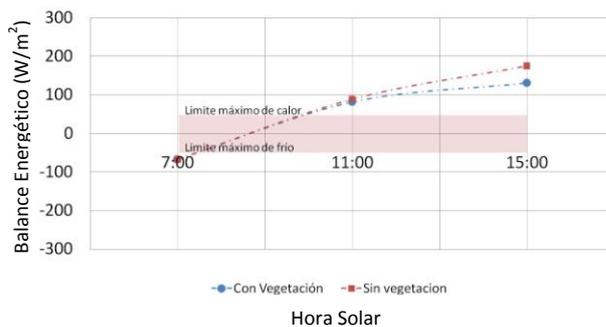
A las 7:00 hora solar el balance energético es de -63 W/m^2 , quiere decir que la persona está ligeramente frío.

A las 11:00 hora solar es de 81 W/m^2 y a las 15:00 hora solar es de 130 W/m^2 , quiere decir que la persona está ligeramente caluroso.

Para evaluar la aportaciones que logra la Parkinsonia, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 49)

A las 7:00 hora solar el balance energético es de -63 W/m^2 , quiere decir que la persona está ligeramente frío. A las 11:00 hora solar es de 88 W/m^2 , quiere decir que la persona está ligeramente calurosa y a las 15:00 hora solar es de 174 W/m^2 , quiere decir que la persona está calurosa.

Ilustración 49 Balance Energético en ausencia de la vegetación invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

Comparando los datos de la Ilustración 48 e Ilustración 49 ambas tienen el mismo comportamiento. Se puede apreciar que a las 11:00 hora solar y 15:00 hora solar el estado térmico del cuerpo sobre pasa el umbral de calor pero es debido a que recibe la radiación solar directa más la densidad de ropa (Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, suéter, anorak) hace que la persona entre en estado ligero de calor.

Este resultado se puede interpretar como un estado donde la persona se encuentra bien ya que el clima está frío por lo que el cuerpo necesita calor.

Podemos concluir que en invierno la pérdida de las hojas de la Parkinsonia permite un mayor intercambio térmico, logrando de estar en un estado frío a un estado caluroso. De igual forma la ausencia o no de la vegetación es igual.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

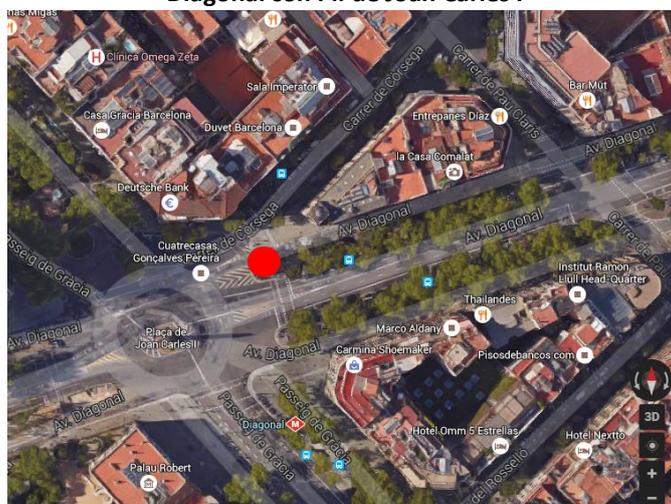
3.2 Frondosidad media. *Platanus x hispánica* (plátano de sombra)

Localización

Localizada en Plaza de Joan Carles I, la cual está delimitada por Av. Diagonal y Passeig de Gracia. El pavimento es de asfalto.

Se seleccionó este punto para el análisis, debido a su morfología urbana, que permite la incidencia solar en el transcurso del día sobre la especie arbórea y por el alto nivel de flujo de personas de tránsito.

Ilustración 50 Localización del punto de análisis. Av.
Diagonal con Pl. de Joan Carles I



Fuente: Elaboración propia con base a Google Maps.

Características de la Especie arbórea

El *Platanus x hispánica* conocida por su nombre común Plátano de sombra pertenece a la familia de platanáceas (Ilustración 51). Es un híbrido entre el *Platanus occidentalis* de zona atlántica de los USA y el *Platanus orientalis* de las montañas de Grecia, con una zona climática de hortícola (Navés Viñas et al. 1995).

Es una especie arbórea caducifolia. Su época de foliación es a mediados de la primavera. Florece entre los meses de Abril a Mayo. Su altura está entre los rangos de 20-30m se denomina como una especie de tamaño grande y con un diámetro de copa entre 6-12m. Sus características estructurales la definen como una especie arbórea de forma ovoidal, de ramaje expandido y una densidad de ramaje media. Las características morfológicas vegetal se puede definir como una especie de hoja alternas compuestas palmadas grandes con un tamaño de 30 cm, de hojas color verde medio y liso.

En la ciudad de Barcelona esta especie arbórea es utilizada en el ámbito urbano como elemento ornamental en calles, parques y plazas. En este caso de estudio elegimos la especie arbórea ubicada en la Avenida Diagonal en la Plaza de Joan Carles I, como podemos ver en la

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 51. Su uso principal es de área espera ya que es una zona de alto tránsito urbano de peatones como vehicular.

Ilustración 51 Especie arbórea *Platanus x hispánica*



Fuente: Elaboración propia.

Se evaluaron las características estructurales, morfológicas, frondosidad y la sombra proyectada para de esta forma determinar el confort producido por esta especie arbórea (Tabla 19).

Tabla 19 Resumen de las características de la especie arbórea *Platanus x hispánica* de Pl. Joan Carles I

Ubicación				
Barcelona	Dreta d'Eixample	Av. Diagonal Pl. de Joan Carles I		
Ciudad	Distrito	Lugar		
Especie arbórea				
<i>Platanus x hispánica</i>	Plátano de carrer	Plátano de sombra		
Científico	Catalán	Castellano		
Características Estructurales				
Esférica/Ovoidal	Expandido	Media		
Forma	Ramaje	Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal				
Alternas compuestas palmadas	Caducifolia	Verde claro medio	Lisa	G (15-25)
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)
Dimensiones de la especie arbórea				
14.00 m	8.45 m	415 m ³	97	
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)	

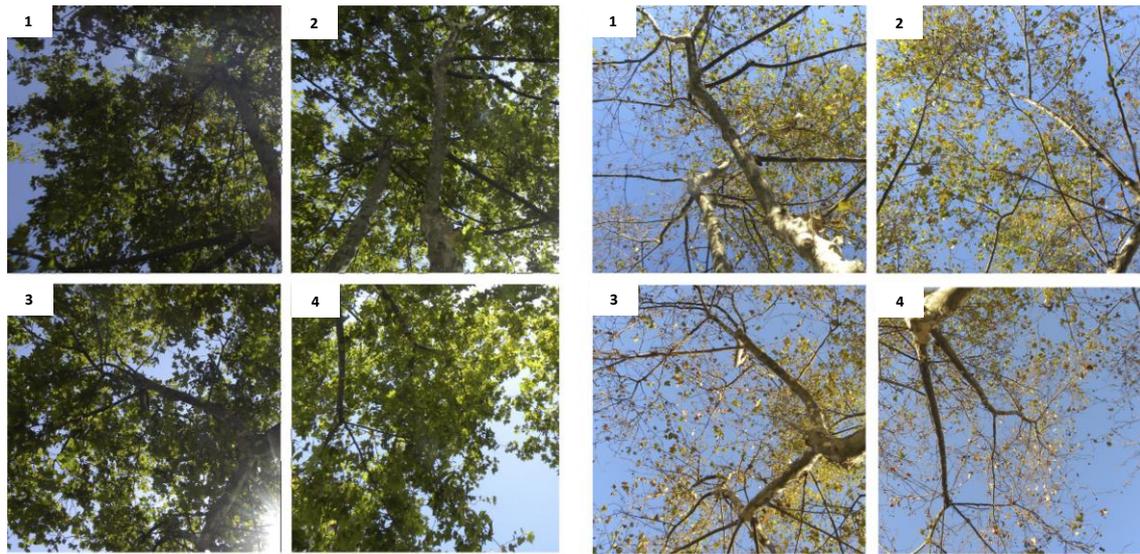
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Caracterización de la frondosidad

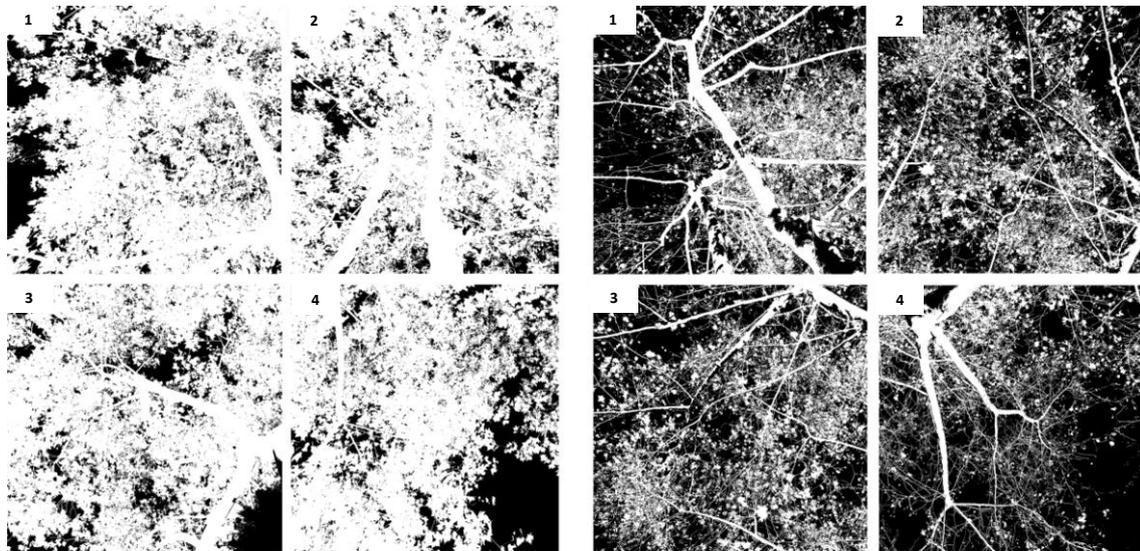
Copa del árbol

En el análisis de la frondosidad se realizaron cuatro tomas fotográficas en verano del 2015 e invierno del 2016 (Ilustración 52), para evaluar el comportamiento de la especie en dos condiciones ambientales diferentes y extremas. Luego fueron procesadas en el programa ImagenJ.

Ilustración 52 Análisis de frondosidad de la *Platanus x hispánica* en verano 2015 e invierno 2016



Originales



Verano 2015

Invierno 2016

Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

En la Ilustración 52, se puede apreciar los resultados obtenidos del procesamiento de imágenes. Debido a las características estructurales del Plátano se observa en la ilustración la forma expandida y la densidad de su ramaje. En verano del 2015, la especie se encuentra en su estado de mayor densidad de hojas, ya que ha florecido a mediados de primavera, por este motivo se logra visualizar una gran densidad de hojas. Por la forma compuesta palmada de sus hojas, logra cubrir una gran porción de cielo visible.

En invierno del 2016, el Plátano de sombra ha perdido una gran parte sus hojas, debido a que es caducifolia. En la Ilustración 52 se observa las características de expansión del ramaje y muy poca densidad de hojas. Al perder sus hojas, su ramaje es el único elemento de protección que ofrece el Plátano en invierno. Se puede apreciar en la ilustración una gran diferencia entre la proporción de cielo visible.

En verano la densidad de las hojas cubre un gran porcentaje de cielo visible, sin embargo en invierno por el cambio estacional la proporción de cielo visible es mayor. Dando como resultado que su frondosidad difiere mucho entre estaciones del año.

Los resultados obtenidos de frondosidad en verano del 2015 son de 0.78, ósea que permite el paso de un 22%. En invierno del 2016, su frondosidad es de 0.35, ósea que permite el paso de un 65%. Entre verano e invierno existe una diferencia de protección de un 43% siendo este un valor que permite crear variaciones en las aportaciones térmicas.

Se ha evaluado su sombra proyectada, para de esta forma conocer que tanto puede cubrir las superficies urbanas. Se realizaron imágenes que luego fueron procesadas en el programa ImageJ para convertirla en un elemento binario, permitiéndonos visualizar la cantidad de machas de luz que posee la sombra proyectada.

Sombra proyectada

Evaluamos la sombra para observar que tanto logra proteger esta frondosidad a las superficies urbanas. Se utilizará la misma metodología de evaluación de imágenes con el programa ImageJ.

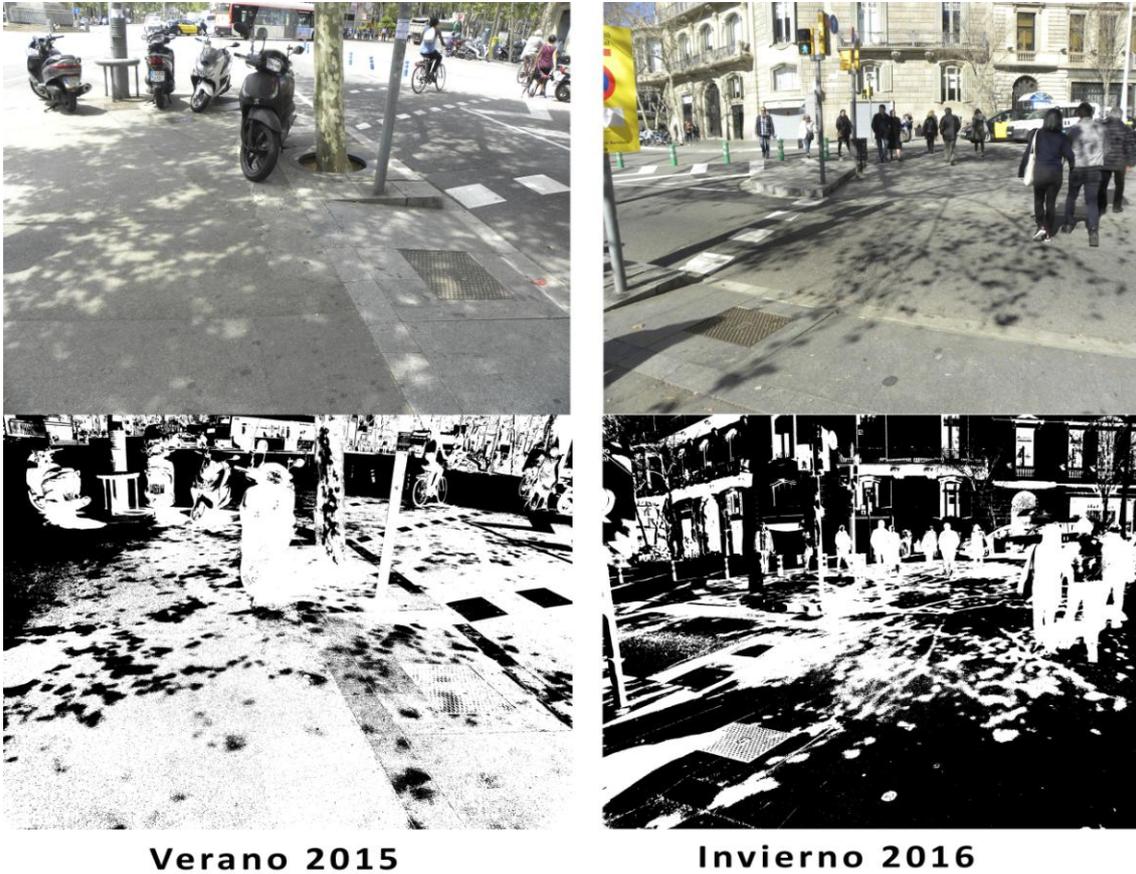
A través del programa nos permite visualizar mejor la cantidad de machas de luz que puede crear la frondosidad, esta estaría relacionada al porcentaje de protección obtenida con la evaluación de la copa del árbol. Estas imágenes fueron realizadas a las 11:00 hora solar.

Se puede apreciar en la Ilustración 53, la sombra proyectada en verano 2015 es esférica y uniforme con una densidad media de manchas de luz. En esta imagen confirma el paso de la radiación solar de un 22% y su frondosidad.

En invierno del 2016 se puede apreciar una sombra esférica irregular con una densidad de manchas de luz alta. Confirmando que la protección que ofrece la frondosidad del Plátano a las superficies urbanas en invierno permitiendo el paso de un 65%.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 53 Captura de imagen fotográfica de la tipología de sombra de la especie *Platanus x hispánica* en verano e invierno



Fuente: Elaboración propia.

Concluimos que el tipo de frondosidad y sombra proyectada por el Plátano de sombra es media densa y media. En verano permite el paso de un 22% y una sombra proyectada media. En invierno permite el paso de un 65% y una sombra proyectada media ligera.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 20 Resumen de las características de la especie arbórea *Platanus x hispánica* de Pl. Joan Carles I

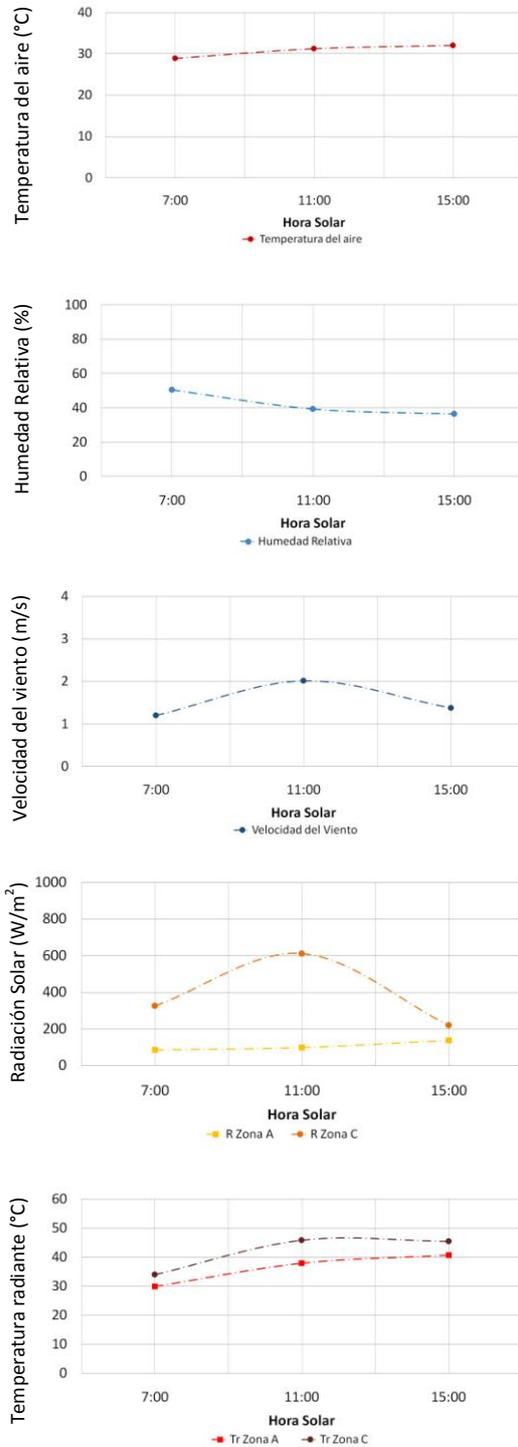
Ubicación					
Barcelona	Dreta d'Eixample		Av. Diagonal Pl. de Joan Carles I		
Ciudad	Distrito		Lugar		
Especie arbórea					
<i>Platanus x hispánica</i>			Plátano de sombra		
Científico	Catalán		Castellano		
Características Estructurales					
Esférica/Ovoidal	Expandido		Media		
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal					
Alternas compuestas palmadas	Caducifolia	Verde claro medio	Lisa	G (15-25)	
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)	
Dimensiones de la especie arbórea					
14.00 m	8.45 m	415 m ³	97		
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)		
Frondosidad					
Verano			Invierno		
0.78	Media densa	22%	0.35	Media	65%
Frondosidad	Sombra proyectada	Protección	Frondosidad	Sombra proyectada	Protección

Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

3.2.2 Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales

Ilustración 54 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea *Platanus x hispánica*.



Fuente: Elaboración propia

Mediciones in-situ en verano del 2015

Las mediciones de verano se realizaron el 15 de Julio del 2015. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 54). La temperatura del aire en el transcurso del día estuvo entre el rango de 29 a 32°C, por lo que fue un día caluroso de verano.

La humedad relativa estuvo en rangos de 36 - 51 %, la cual disminuyo en respuesta al aumento de temperatura del aire en el transcurso del día.

La velocidad del viento fue constante en la mañana, al medio día empezó a disminuir la velocidad del viento. Para finales de la tarde fue la menor registrada en el día. Esta calle debido a su configuración (ubicación y morfología urbana) se ve favorecida ya que recibe los vientos de todas direcciones.

En estos parámetros ambientales (Ta, HR y V) el Plátano de sombra no logra un gran cambio ya que para lograr modificaciones apreciables debe existir una mayor densidad de árboles.

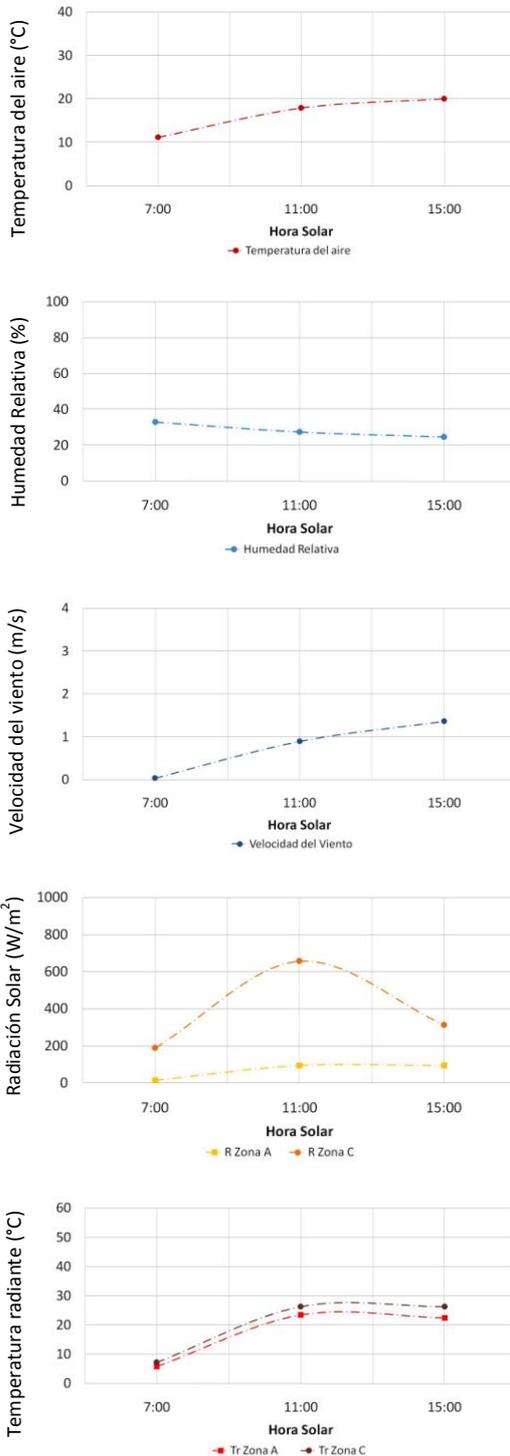
La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte de la vegetación. El Plátano de sombra a través de su frondosidad de 0.78 y sombra proyectada media que permite el paso un 22% logrando apreciables aportes.

En la radiación solar el Plátano logro disminuir entre 83 a 513W/m² en el transcurso del día. En la temperatura radiante logro disminuir entre 4 a 8°C en el transcurso del día.

Estos resultados se pueden apreciar en las imágenes infrarrojas realiza. Se puede ver como la sombra proyectada logra proteger y variar la temperatura radiante en el transcurso del día. Esta disminución en la radiación solar y en la temperatura radiante se transforma en menos aportaciones al ambiente y a la persona.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

**Ilustración 55 Mediciones in-situ de los
parámetros de confort en invierno de la
especie arbórea *Platanus x hispánica*.**



Fuente: Elaboración Propia

Mediciones in-situ en invierno del 2016

Las mediciones de invierno se realizaron el 16 de Febrero del 2016. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 55)

La temperatura del aire en el transcurso del día estuvo entre el rango de 11 a 20°C, por lo que fue un día fresco de invierno.

La humedad relativa estuvo en rangos de 25 a 33%, la cual disminuyó en respuesta al aumento de temperatura del aire en el transcurso del día.

La velocidad del viento fue aumentando en el transcurso del día llegando a registrar una velocidad de 1.37m/s. Esta calle debido a su configuración (ubicación y morfología urbana) se ve favorecida ya que recibe los vientos de todas direcciones.

En estos parámetros ambientales (Ta, HR y V) el Plátano de sombra no logra un gran cambio ya que para lograr modificaciones apreciables debe existir una mayor densidad de árboles.

La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte de la vegetación. El Plátano a través de su frondosidad de 0.35 y sombra proyectada media que permite el paso de un 65% logrando apreciables aportes.

En la radiación solar el Plátano logro disminuir entre 175 a 562W/m² en el transcurso del día. En la temperatura radiante logro disminuir entre 1 a 4°C en el transcurso del día.

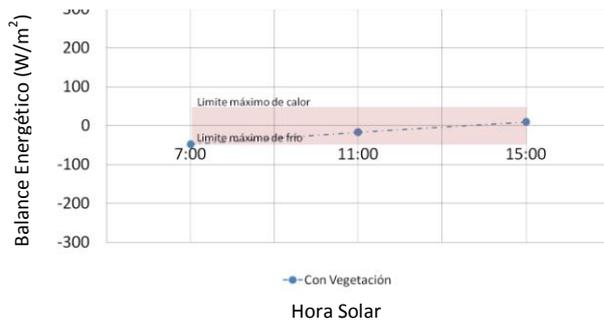
Estos resultados se pueden apreciar en las imágenes infrarrojas realizadas. Se puede ver como la sombra proyectada logra proteger y variar la temperatura radiante en el transcurso del día. Esta disminución en la radiación solar y en la temperatura radiante se transforma en menos aportaciones al ambiente y a la persona

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

3.2.3 Evaluación del confort humano.

Para la evaluación del confort se ha utilizado la fórmula del balance energético de (Ochoa de la Torre 1999)(Ochoa de la Torre 2009)(Anexo 1) se utilizaron las mediciones in-situ y la frondosidad para conocer el intercambio térmico de una persona bajo la copa del árbol.

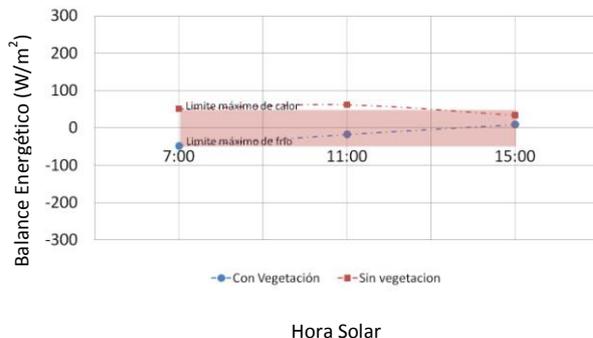
Ilustración 56 Balance Energético producido por la *Platanus x hispánica* en Verano 2015



Fuente: Elaboración propia.

energético de una persona expuesta bajo la copa del árbol refleja un estado de confort constante en el transcurso del día. Aunque el intercambio térmico aumenta en el día, siempre se mantiene dentro de los umbrales aceptables. Los valores registrados estuvo entre un rango de -49 a 9 W/m².

Ilustración 57 Balance Energético en ausencia de la vegetación en verano 2015



Fuente: Elaboración propia.

62 W/m², en un estado ligeramente caluroso y disminuye al caer la tarde registrando 34 W/m², llegando a un estado de confort.

En este resultado del balance energético se puede apreciar que al disminuir temperatura radiante de hasta 8 °C, una sombra media y una protección por parte de la frondosidad de un 0.78.

El balance energético de una persona bajo la copa del Plátano en el transcurso del día en verano siempre se mantiene en umbrales de confort. Pero en ausencia del árbol el intercambio térmico con la persona es mayor creando horas de dis-confort.

El balance energético producido por el Plátano de sombra en verano del 2015 se proyectó en un rango de -18 a 9 W/m² (Ilustración 56).

En estos resultados se puede apreciar que al disminuir la radiación solar en un rango de 83 a 513W/m² y en la temperatura radiante en un rango de 4 a 8°C en el transcurso del día puede lograr mejoras en el confort de una persona.

A las 7:00 hora solar el balance energético de una persona expuesta bajo la copa del árbol refleja un estado de confort constante en el transcurso del día. Aunque el intercambio térmico aumenta en el día, siempre se mantiene dentro de los umbrales aceptables. Los valores registrados estuvo entre un rango de -49 a 9 W/m².

Para evaluar la aportaciones que logra el Plátano de sombra, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 57).

El balance energético producido en ausencia del Plátano en verano del 2015 se proyectó en un rango de 34 a 62 W/m².

Esto quiere decir que en horas de la mañana el estado de una persona es de un confort casi llegando a un estado caluroso, que aumenta al medio día a

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

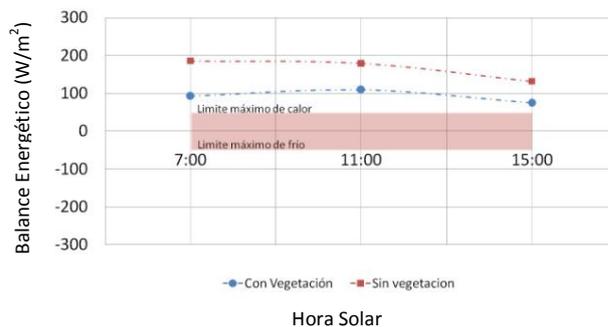
Se realizaron los mismos cálculos en invierno del 2016, para conocer la influencia del ramaje en las condiciones ambientales y en el balance energético. En estos resultados, se puede apreciar que al disminuir la radiación solar en un rango de 175 a 562W/m² y en la temperatura radiante en un rango de 1 a 4°C en el transcurso del día puede lograr mejoras en el confort de una persona.

Ilustración 58 Balance Energético producido por la *Platanus x hispánica* en Invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 59 Balance Energético en ausencia de la vegetación en Invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

bajo la copa de del Plátano de sombra en el transcurso del día en invierno se mantiene en estado ligeramente caluroso. Se puede apreciar en el estado de confort térmico a través de este cálculo los que resultados que se obtienen al disminución de la temperatura radiante de hasta 4 °C, una sombra media irregular y una protección por parte de la frondosidad de un 0.35.

El balance energético de una persona bajo la copa del árbol refleja un estado ligeramente caluroso en el transcurso del día. Aunque el intercambio energético aumenta en el día se mantiene en el mismo estado. Se proyectó en un rango de 74 a 109 W/m² (Ilustración 58)

Para evaluar las aportaciones que logra el ramaje del Plátano de sombra, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 59).

El balance energético de una persona en invierno y en ausencia de la vegetación es de un estado ligeramente caluroso/caluroso en el transcurso del día.

Se proyectó en un rango de 132 a 186 W/m². Esto es debido al tipo de vestimenta que usamos en invierno más las aportaciones del ambiente crean un estado de calor.

El balance energético de una persona

3.3 Frondosidad alta. *Quercus ilex* (encina)

Localización

Localizada en la Avenida Diagonal, la cual está delimitada por Av. Diagonal y Carrer Roger Llúria. El pavimento es de asfalto.

Se seleccionó este punto para el análisis, debido a su morfología urbana que permite la incidencia solar el transcurso del día sobre la especie arbórea y por el nivel de flujo de personas de tránsito.

Ilustración 60 Localización del punto de análisis. Av. Diagonal con Carrer Roger Llúria.



Fuente: Elaboración propia en base a Google Maps.

Características de la Especie arbórea

El *Quercus ilex* conocida por su nombre común encina pertenece a la familia de las Fagáceas. (Ilustración 61). Su origen es de Mediterráneo litoral. De zona climática cuatro ósea de bosque esclerófilos. (Navés Viñas et al. 1995)

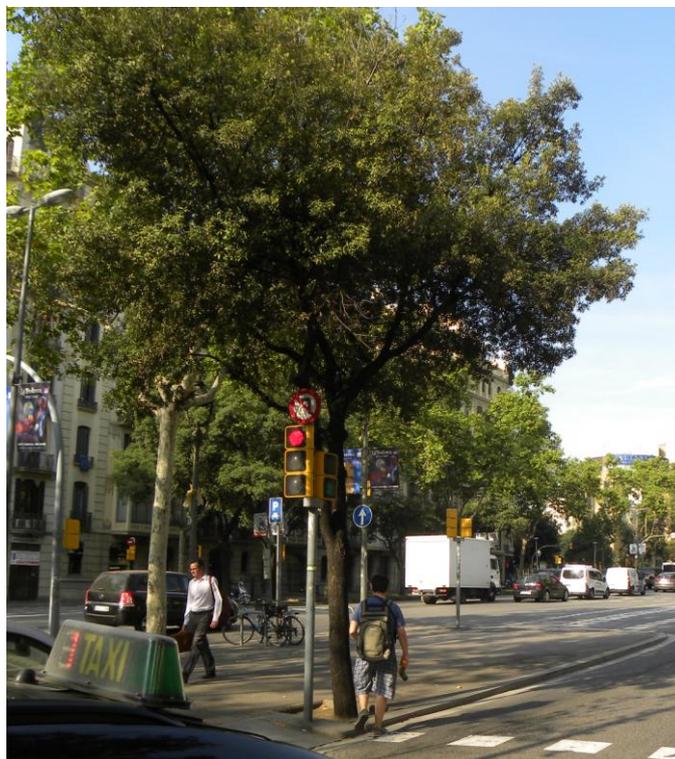
Es una especie arbórea perenne. Su época de foliación es a finales de la primavera. Florece entre los meses de Abril a Mayo. Su altura está entre los rangos de 8-15m se denomina como una especie de tamaño medio y con un diámetro de copa entre 8-10m. Sus características estructurales la definen como una especie arbórea de forma esférica y eclíptica irregular, de ramaje tortuoso y una densidad de ramaje densa. Las características morfológicas vegetal se puede definir como una especie de hoja de tamaño pequeño con una dimensión de 4 a 7cm, de hojas color verde oscuro brillante y de textura coriácea ósea semejante a la textura del cuero.

En la ciudad de Barcelona esta especie arbórea es utilizada en el ámbito urbano como elemento ornamental en calles, parques y plazas. En este caso de estudio elegimos la especie arbórea ubicada en Av. Diagonal con Carrer Roger Llúria, como podemos ver en la Ilustración 60 e Ilustración 61 es muy usada por las personas como espacio urbano de estancia en épocas

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

de verano e invierno. Su uso principal es de área espera ya que es una zona de alto tránsito urbano de peatones como vehicular.

Ilustración 61 Especie arbórea *Quercus ilex*.



Fuente: Elaboración propia.

Se evaluaron las características estructurales, morfológicas, frondosidad y la sombra proyectada para de esta forma determinar el confort producido por esta especie arbórea (Tabla 21)

Tabla 21 Resumen de las características de la especie arbórea *Quercus ilex* de Av. Diagonal

Ubicación				
Barcelona	Dreta d'Eixample	Av. Diagonal/Carrer Roger Llúria		
Ciudad	Distrito	Lugar		
Especie arbórea				
<i>Quercus ilex</i>	Alzina de fulla llarga	Encina		
Científico	Catalán	Castellano		
Características Estructurales				
Esférica/eclíptica	Tortuoso	Densa		
Forma	Ramaje	Densidad de ramaje		
Características morfológica vegetal				
Alternas simples pinnadas oval d.	Perenne	Verde oscuro br.	coriácea	P (4-7)
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)
Dimensiones de la especie arbórea				
5.1 m	3.4 m	12.7 m ³	76	
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)	

Fuente: Elaboración propia.

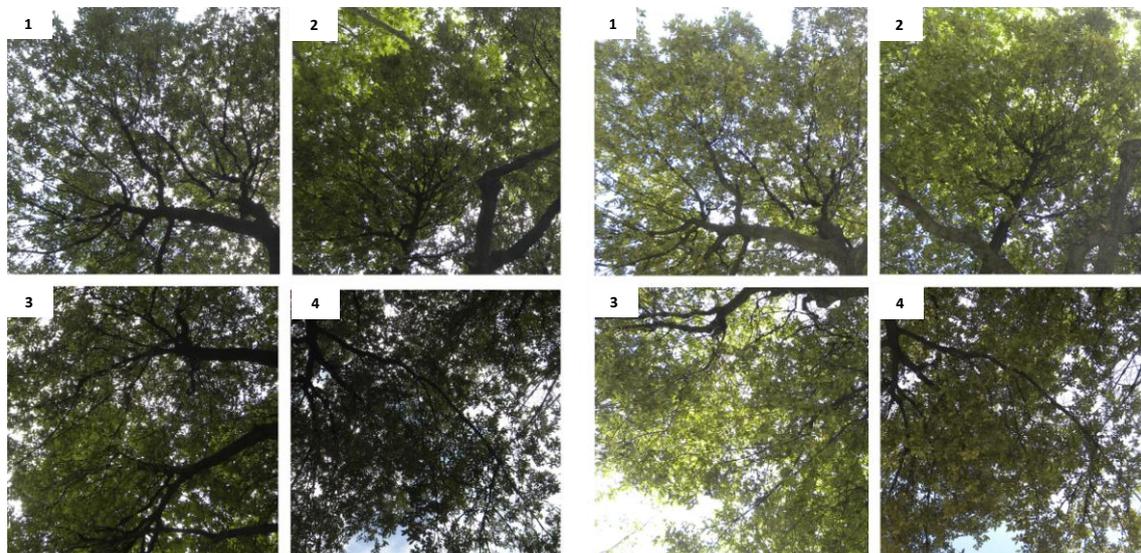
3.3.1 Caracterización de la frondosidad

Copa del árbol

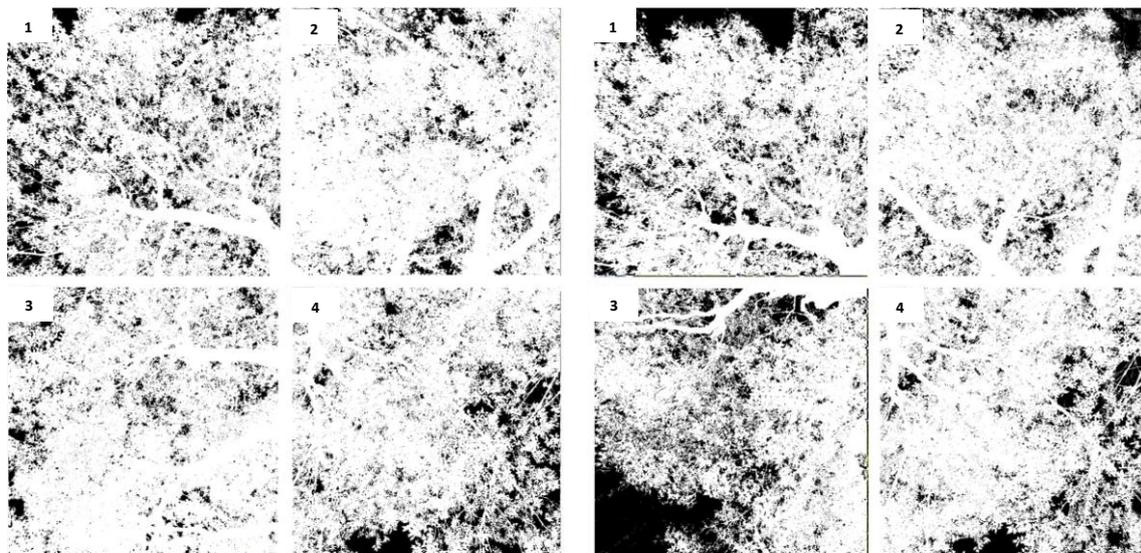
En la Ilustración 62 se puede apreciar los resultados obtenidos del procesamiento de imágenes. Debido a las características estructurales de la Encina se observa en la ilustración la forma esférica de su ramaje, forma y composición de sus hojas densidad.

En verano del 2015, la especie se encuentra en su estado de floración y mayor densidad de hojas, por este motivo se logra visualizar una gran densidad de hojas. En invierno del 2016 la Encina pierde un poco de hojas sin perder la densidad ya que es perenne.

Ilustración 62 Análisis de frondosidad de la *Quercus ilex* en verano 2015 e invierno 2016



Originales



Verano 2015

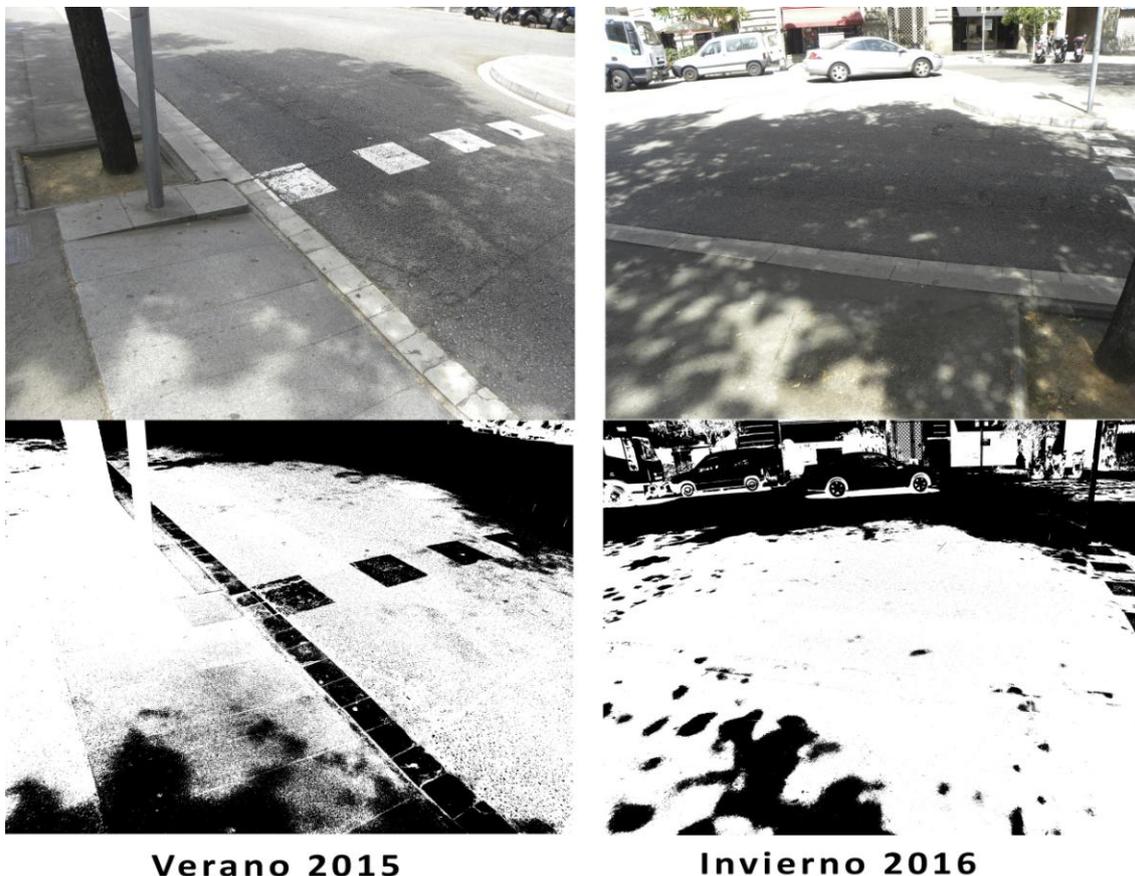
Invierno 2016

Fuente: Elaboración propia

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Evaluamos la sombra proyectada para observar que tanto logra proteger esta frondosidad a las superficies urbanas. Se utilizará la misma metodología de evaluación de imágenes con el programa ImageJ.

Ilustración 63 Captura de imagen fotográfica de la tipología de sombra de la especie *Quercus ilex* en verano e invierno



Fuente: Elaboración propia.

A través del programa nos permite visualizar mejor la cantidad de manchas de luz que puede crear la frondosidad, esta estaría relacionada al porcentaje de protección obtenida con la evaluación de la copa del árbol. Estas imágenes fueron realizadas a las 11:00 horas solares.

Se puede apreciar en la Ilustración 63, la sombra proyectada en verano 2015 es esférica y uniforme con un muy poco de manchas de luz. En esta imagen confirma que la protección que ofrece la frondosidad de la Encina a las superficies urbanas es de un 16%.

En invierno del 2016, se puede apreciar una sombra esférica uniforme con ligeras manchas de luz. Confirmando que la protección que ofrece la frondosidad de la Encina a las superficies urbanas en invierno es de un 23%.

Concluimos que el tipo de sombra proyectada y frondosidad la Encina es densa en verano por permitir el paso de un 16% en verano y media densa en invierno por permitir el paso de un 23%. Dando como resultado menos aportaciones térmicas al ambiente por medio de las temperatura radiante a las superficies del suelo.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 22 Resumen de las características de la especie arbórea Quercus ilex de Av. Diagonal

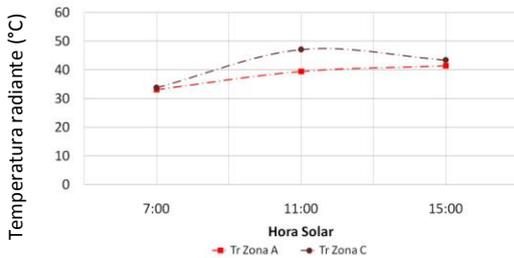
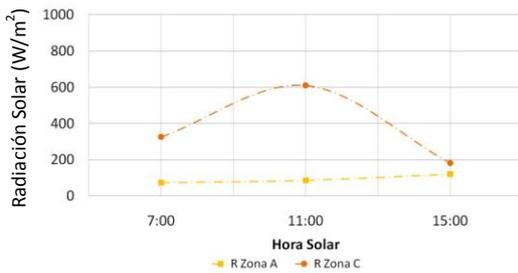
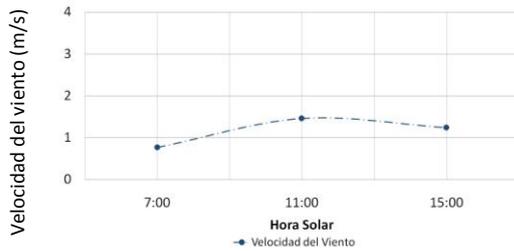
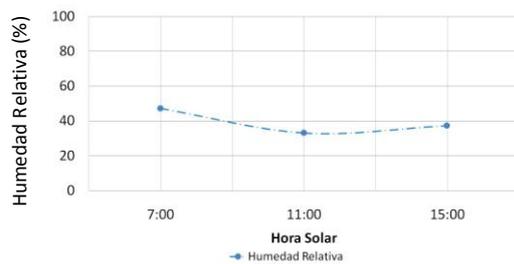
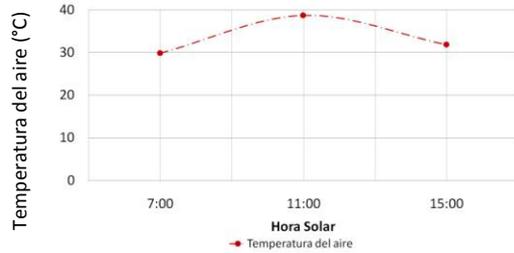
Ubicación					
Barcelona	Dreta d'Eixample		Av. Diagonal/Carrer Roger Llúria		
Ciudad	Distrito		Lugar		
Especie arbórea					
<i>Quercus ilex</i>	Alzina de fulla llarga		Encina		
Científico	Catalán		Castellano		
Características Estructurales					
Esférica/eclíptica	Tortuoso		Densa		
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal					
Alternas simples pinnadas oval d.	Perenne	Verde oscuro br.	coriácea	P (4-7)	
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)	
Dimensiones de la especie arbórea					
5.1 m	3.4 m	12.7 m ³		76	
Altura	Diámetro	Volumen		Tronco (cm)	
Frondosidad					
Verano			Invierno		
0.84	Densa	16%	0.77	Media densa	23%
Frondosidad	Sombra proyectada	Protección	Frondosidad	Sombra proyectada	Protección

Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

3.3.2 Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales

Ilustración 64 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea *Quercus ilex*.



Fuente: Elaboración propia.

Mediciones in-situ en verano del 2015

Las mediciones de verano se realizaron el 15 de Julio del 2015. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 64)

La temperatura del aire en el transcurso del día estuvo entre el rango de 29 a 39°C, por lo que fue un día caluroso de verano.

La humedad relativa estuvo en rangos de 33 - 47%, la cual disminuyo en respuesta al aumento de temperatura del aire en el transcurso del día.

La velocidad del viento fue constante en la mañana, al medio día empezó a disminuir la velocidad del viento, para finales de la tarde aumento a 1.2 m/s.

En estos parámetros ambientales (Ta, HR y V) la Encina no logra un gran cambio ya que para lograr modificaciones apreciables debe existir una mayor densidad de árboles.

La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte de la vegetación.

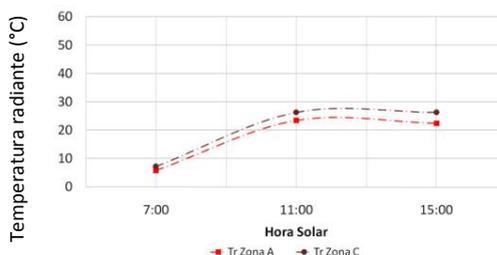
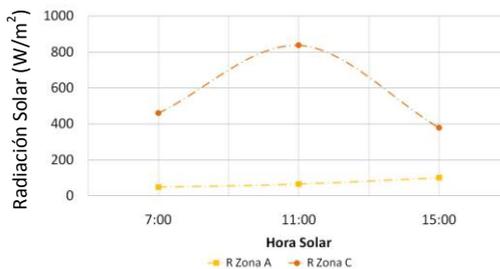
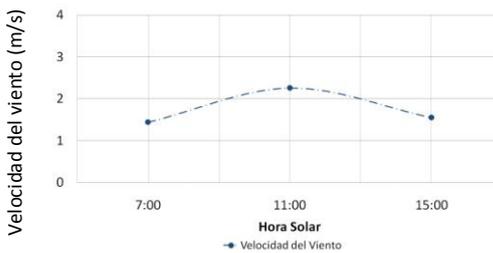
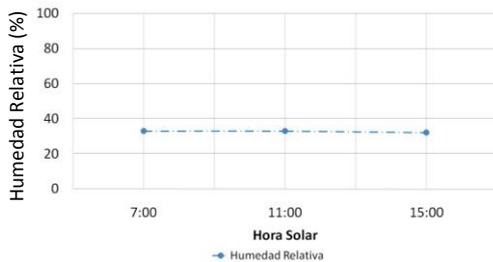
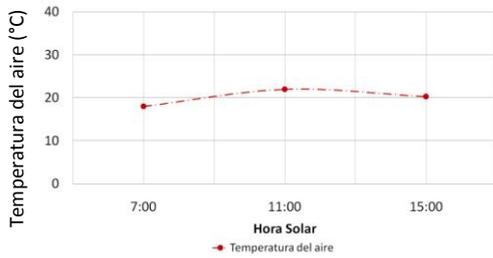
En la radiación solar la Encina logra disminuir hasta 523 W/m², siendo está la mayor registrada.

En la temperatura radiante la Encina logro disminuir hasta 8°C. En el transcurso del día se registraron valores menores con una diferencia desde 1 a 8°C en relación a la temperatura radiante exterior.

Esta disminución en la radiación solar y en la temperatura radiante se transforma en menos aportaciones al ambiente y a la persona

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

**Ilustración 65 Mediciones in-situ de los
parámetros de confort en invierno de la
especie arbórea *Quercus ilex*.**



Fuente: Elaboración propia.

Mediciones in-situ en invierno del 2016

Las mediciones de invierno se realizaron el 09 de Febrero del 2016. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 65)

La temperatura del aire en el transcurso del día estuvo entre el rango de 18 a 22°C, por lo que fue un día fresco de invierno.

La humedad relativa estuvo en rangos de 32 a 33%, manteniéndose constante durante el día.

La velocidad del viento se mantuvo constante se mantuvo en un rango de 1.45 a 2.25 m/s. Esta calle debido a su configuración (ubicación y morfología urbana) se ve favorecida ya que recibe los vientos de todas direcciones.

En estos parámetros ambientales (Ta, HR y V) la Encina no logra un gran cambio ya que para lograr modificaciones apreciables debe existir una mayor densidad de árboles.

La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte de la vegetación.

En la radiación solar la Encina logra disminuir hasta 771 W/m², siendo está la mayor registrada.

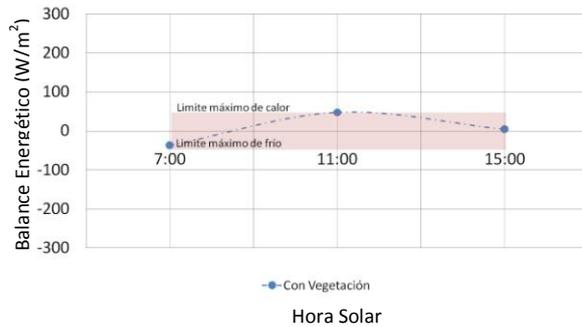
En la temperatura radiante la Encina logro disminuir hasta 12 °C. En el transcurso del día se registraron valores menores con una diferencia desde 1 a 4°C en relación a la temperatura radiante exterior.

Esta disminución en la radiación solar y en la temperatura radiante se transforma en menos aportaciones al ambiente y a la persona

3.3.3 Evaluación del confort humano.

Para la evaluación del confort se ha utilizado la fórmula del balance energético de (Ochoa de la Torre 1999)(Ochoa de la Torre 2009)(Anexo 1). Se utilizaron las mediciones in-situ y la frondosidad para conocer el intercambio térmico de una persona bajo la copa del árbol.

Ilustración 66 Balance Energético producido por la *Quercus ilex* en Verano 2015



Fuente: Elaboración propia.

El balance energético producido por la Encina en verano del 2015 se proyectó en un rango de -37 a 4 W/m^2 (Ilustración 66).

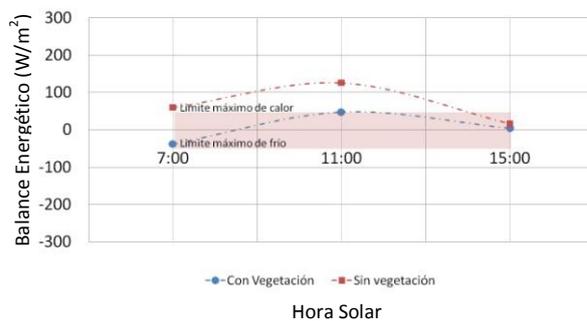
A las 7:00 hora solar el balance energético de una persona expuesta bajo la copa del árbol es de -37 W/m^2 , esto refleja un estado de confort térmico dentro del rango de frío por lo que la persona pierde más calor hacia el ambiente.

A las 11:00 hora solar el balance energético de una persona expuesta bajo la copa del árbol es de 48 W/m^2 , esto refleja un estado de confort térmico dentro del rango de calor por lo que el ambiente está caliente pero al recibir menos aportes de calor por el sol, el cuerpo puede perder calor hacia el ambiente.

A las 15:00 hora solar el balance energético de una persona expuesta bajo la copa del árbol es de 4 W/m^2 , esto refleja un estado de confort térmico dentro del rango medio, esto significa que la persona estaba en equilibrio térmico, ya que el calor que pierde es igual al que gana.

Aunque el intercambio térmico aumenta en el día, siempre se mantiene dentro de los umbrales aceptables. Para evaluar la aportaciones que logra la Encina, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 67).

Ilustración 67 Balance Energético en ausencia de la vegetación verano 2015



Fuente: Elaboración propia.

El balance energético producido en ausencia de la Encina en verano del 2015 se proyectó en un rango de 17 a 126 W/m^2 .

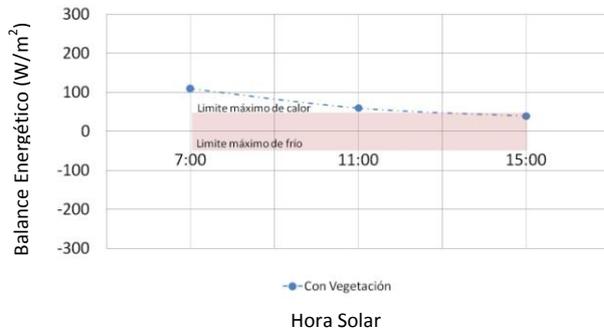
Esto quiere decir que en horas de la mañana el estado de una persona es de ligeramente caluroso, que aumenta al medio día a 126 W/m^2 en un estado caluroso y disminuye al caer la tarde registrando 17 W/m^2 , llegando a un estado de confort.

El balance energético de una persona bajo la copa de la Encina en el transcurso del día en verano siempre se mantiene en umbrales de confort. En este resultado se puede ver los resultados obtenidos de una disminución de la temperatura radiante de hasta 8 $^{\circ}C$, una sombra densa y una protección por parte de la frondosidad de un 0.84 .

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Se realizaron los mismos cálculos pero en invierno del 2016, para conocer la influencia del ramaje en las condiciones ambientales y en el balance energético.

Ilustración 68 Balance Energético producido por la *Quercus ilex* en Invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

de la copa del árbol con el cielo disminuyendo el intercambio del cielo y la persona.

Para evaluar las aportaciones que logra la Encina, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 69).

Ilustración 69 Balance Energético en ausencia de la vegetación invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

del día en invierno se mantiene en estado ligeramente caluroso y confort. Se puede apreciar en el confort a través de este cálculo los que resultados que se obtienen al disminución de la temperatura radiante de hasta 12 °C, una sombra densa uniforme y una protección por parte de la frondosidad de 0.77.

El balance energético producido por la Encina en invierno del 2015 se proyectó en un rango de 40 a 109 W/m².

Refleja un estado ligeramente caluroso y en confort en el transcurso del día. Aunque el intercambio energético disminuye en el día se mantiene en los umbrales de confort.

Se puede observar que en este caso el estado del cuerpo es caluroso aunque se está en invierno, esto interviene tanto la ropa como de igual forma la obstrucción

El balance energético de una persona en invierno y en ausencia de la vegetación es de un estado caluroso/muy caluroso en el transcurso del día.

Se proyectó en un rango de 208 a 290 W/m². Esto es debido al tipo de vestimenta que usamos en invierno más las aportaciones del ambiente crean un estado de calor.

El balance energético de una persona bajo la copa de la Encina en el transcurso

3.4 Comparación de frondosidades

La vegetación es una herramienta natural que proporciona un sin número de elementos al ambiente como al ser humano. Hemos evaluado la frondosidad de tres tipologías de especies arbóreas la *Parkinsonia aculea* (Parkinsonia), el *Platanus x hispánica* (Plátano de sombra) y el *Quercus ilex* (Encina). Se realizaron mediciones in-situ, se evaluó su frondosidad a través de imágenes fotográficas que nos permitían conocer su aportación al ambiente y su nivel de protección. Luego con el modelo de cálculo del Balance energético se obtuvo el confort producido por la especie arbórea.

En esta investigación las variables para la elección de las especies arbóreas fueron su frondosidad, su característica estructural, su característica morfológica y su dimensión. De estas variables los indicadores fueron su frondosidad y densidad de sombra proyectada. Analizados estos indicadores se pudo obtener el nivel de protección que podría ofrecer cada una y como esto se ve reflejado en la temperatura radiante y la radiación solar sobre el confort térmico.

Verano 2015

En verano 2015 obtuvimos resultados favorables en la Tabla 23 se puede apreciar un resumen de los resultados obtenidos de su frondosidad (protección y transmisividad (t), de la disminución de radiación solar y temperatura radiante y que confort térmico que genera cada especie arbórea.

Tabla 23 Resumen del análisis de las especies arbóreas en verano del 2015

Especie arbórea	Hora solar	t	Protección (Frondosidad)	Disminuye		B.E.	Interpretación de B. E.
				ΔR	ΔTr		
		S. U.	%	W/m ²	°C	W/m ²	
Parkinsonia	7:00	0.70	30	307	2	32	Confortable
Plátano de sombra		0.22	78	241	4	-49	Confortable
Encina		0.16	84	251	1	-37	Confortable
Parkinsonia	11:00	0.70	30	246	7	160	Caluroso
Plátano de sombra		0.22	78	513	8	-18	Confortable
Encina		0.16	84	523	8	48	Confortable
Parkinsonia	15:00	0.70	30	239	5	40	Confortable
Plátano de sombra		0.22	78	83	5	9	Confortable
Encina		0.16	84	59	2	4	Confortable

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar la diferencia de frondosidad, protección, la cantidad que logra disminuir de radiación solar y temperatura radiante entre las tres especies en verano.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

La Parkinsonia debido a sus características morfológicas de forma extendida, de ramaje colgante irregular y tipología de hojas de tamaño grande, por morfología de la hoja de hilos no obstruye en gran medida aunque su tamaño sea grande, protegiendo un 30% las superficies urbanas, permitiendo el paso de un gran porcentaje de la radiación solar. Los rangos de disminución de la Radiación solar fueron hasta 307 W/m^2 y de la temperatura radiante de hasta 7°C .

El Plátano de sombra por sus características morfológicas de forma ovoidal, ramaje expandido y una tipología de hoja de tamaño grande logra proteger un 78% las superficies urbanas, permitiendo poco paso de la radiación solar. Los rangos de disminución de la radiación solar fueron hasta de 513 W/m^2 y de la temperatura radiante de hasta de 8°C .

La Encina por sus características morfológicas de forma Esférica/eclíptica, ramaje tortuoso y una tipología de hoja de tamaño pequeño que logran proteger un 84% las superficies urbanas, permitiendo muy poco el paso de la radiación solar. Los rangos de disminución de la radiación solar fueron hasta de 523 W/m^2 y de la temperatura radiante de hasta de 8°C .

Aunque la Parkinsonia tiene un nivel de protección de 30% logra ofrecer confort a las 7:00 y 15:00 horas solar. A diferencia del Plátano de sombra con una protección de 78% y la Encina con una protección de un 84% ofreciendo un balance energético constante.

Las horas más desfavorables son las 11:00 hora solar debido alta incidencia de la radiación solar. A esta hora del día las especies arbóreas que más logran proteger son el Plátano de sombra y la Encina. Sin embargo, la Parkinsonia crea un balance energético caluroso, siendo un escenario desfavorable para los usuarios.

Las características son variables que juegan un papel decisivo, podemos ver que las especies arbóreas aunque sus hojas sean de mayores dimensiones como el Plátano de sombra no realizan la misma función que la Encina. Esto es debido a su nivel de frondosidad y su forma estructural. Aunque sus hojas sean grande estos dos indicadores son los que determinan su nivel de protección.

Si planteamos el mismo escenario climático pero en ausencia de la vegetación se logró observar que el caso del balance energético de una persona siempre fue desfavorable a lo largo del día en verano (Tabla 24). Esta interpretación refleja un dis-confort constante, generando la situación de que el usuario prefiera estar en espacios interiores climatizados en la edificación y no en espacios exteriores.

Sin embargo, el escenario donde está la vegetación aunque su nivel de protección sea menor como en el caso de la Parkinsonia el escenario siempre es favorable, logrando un balance energético de confort térmico en el transcurso del día.

Esto comprueba que la vegetación es una de las principales herramientas para el tratamiento de espacios públicos. Ya que a través de ella creamos escenarios urbanos confortables para los usuarios, logrando así abrir el espacio público a las personas en verano.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Tabla 24 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación verano del 2015

Especie arbórea	Hora solar	Con vegetación	Interpretación de B. E.	Sin vegetación	Interpretación de B. E.
		B.E.		B.E.	
		W/m ²		W/m ²	
Parkinsonia	7:00	32	Comfortable	80	Lig. caluroso
Plátano de sombra		-49	Comfortable	51	Lig. Caluroso
Encina		-37	Comfortable	59	Lig. Caluroso
Parkinsonia	11:00	160	Caluroso	193	Caluroso
Plátano de sombra		-18	Comfortable	62	Lig Caluroso
Encina		48	Comfortable	126	Caluroso
Parkinsonia	15:00	40	Comfortable	70	Lig. caluroso
Plátano de sombra		9	Comfortable	34	Comfortable
Encina		4	Comfortable	17	Comfortable

Fuente: Elaboración propia.

Invierno 2016

En invierno del 2016 se obtuvieron resultados favorables (Tabla 25). La evaluación de estas especies en invierno busca obtener resultados de que efectos logra el ramaje de las especies arbóreas ya que la Parkinsonia y el Plátano de sombra son caducifolios. Por otra parte, que tanto puede afectar el intercambio energético si la especie es perenne en el caso de la Encina.

La Parkinsonia debido a sus características morfológicas de forma extendida y de ramaje colgante irregular llegan a proteger un 20% las superficies urbanas, permitiendo el paso de la radiación solar. Los rangos de disminución de la Radiación solar fueron hasta 304 W/m² y de la temperatura radiante de hasta 5°C.

El Plátano de sombra por sus características morfológicas de forma ovoidal y ramaje expandido logran proteger un 35% las superficies urbanas, permitiendo el paso de la radiación solar. Los rangos de disminución de la radiación solar fueron hasta de 562 W/m² y de la temperatura radiante de hasta de 4°C.

La Encina por sus características morfológicas de forma Esférica/eclíptica, ramaje tortuoso y una tipología de hoja de tamaño pequeño que logran proteger un 77% las superficies urbanas, permitiendo muy poco el paso de la radiación solar. Los rangos de disminución de la radiación solar fueron hasta de 771 W/m² y de la temperatura radiante de hasta de 12°C.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 25 Resumen del análisis de las especies arbóreas en invierno del 2016

Especie arbórea	Hora solar	t	Protección (Frondosidad)	Disminuye		B.E.	Interpretación de B. E.
				ΔR	ΔTr		
		S. U.	%	W/m ²	°C	W/m ²	
Parkinsonia	7:00	0.79	20	1	1	-68	Lig. Frío
Plátano de sombra		0.65	35	175	1	93	Lig. caluroso
Encina		0.23	77	412	6	109	Lig. caluroso

Parkinsonia	11:00	0.79	20	45	1	81	Lig. caluroso
Plátano de sombra		0.65	35	562	3	109	Lig. caluroso
Encina		0.23	77	771	12	61	Lig. caluroso

Parkinsonia	15:00	0.79	20	304	5	130	Lig. caluroso
Plátano de sombra		0.65	35	218	4	74	Lig. caluroso
Encina		0.23	77	277	5	40	Comfortable

Fuente: Elaboración propia

En invierno el balance energético producido es ligeramente caluroso de manera constante en los tres escenarios. Esta interpretación de ligeramente caluroso es debido a la radiación solar que recibe, el tipo de vestimenta utilizada por la condición climática y el intercambio térmico que realiza el cuerpo.

Se puede observar que aunque el árbol tenga una protección de 77% en comparación con el Plátano de sombra que tiene una protección de 35% el balance energético se mantiene constante en el día.

El ramaje de la vegetación permite el paso de la radiación solar en épocas de invierno logrando satisfacer el estado térmico de una persona en el espacio exterior, generando un estado constante de límites de confort en el día, esto significa que al usuario recibe la radiación solar justa para calentarse y el cuerpo debido a la ropa (Clo) retiene calor de manera que el cuerpo pueda estar caliente.

Si planteamos el mismo escenario climático pero en ausencia de la vegetación en este caso su ramaje se logró observar que el caso del balance energético de una persona siempre fue desfavorable a lo largo del día en invierno (Tabla 26). Esta interpretación refleja un dis-confort térmico constante, generando la situación de que el usuario prefiera estar en espacios interiores climatizados en la edificación y no en espacios exteriores en invierno.

Sin embargo, el escenario donde está la vegetación aunque su nivel de protección sea la densidad de ramaje el escenario siempre es favorable, logrando un balance energético aceptable de confort en el transcurso del día en invierno, debido que gracias a las ramas el usuario no recibe de forma directa la radiación.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 26 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación invierno del 2016

Especie arbórea	Hora solar	Con vegetación	Interpretación de B. E.	Sin vegetación	Interpretación de B. E.
		B.E.		B.E.	
		W/m ²		W/m ²	
Parkinsonia	7:00	-68	Lig. Frío	-68	Lig. Frío
Plátano de sombra		93	Lig. caluroso	186	Caluroso
Encina		109	Lig. caluroso	246	Caluroso
Parkinsonia	11:00	81	Lig. caluroso	88	Lig. caluroso
Plátano de sombra		109	Lig. caluroso	179	Caluroso
Encina		61	Lig. caluroso	290	Muy Caluroso
Parkinsonia	15:00	130	Lig. caluroso	174	Caluroso
Plátano de sombra		74	Lig. caluroso	132	Caluroso
Encina		40	Confortable	208	Caluroso

Fuente: Elaboración propia

Esto comprueba que la vegetación aun perdiendo sus hojas en invierno, logra filtrar a través de su ramaje, permitiendo el paso de la radiación solar en épocas de bajas temperaturas.

Esta doble función que realiza la vegetación en dos escenarios climáticos extremos termina comprobando la hipótesis que sus aportaciones al entorno urbano y en este caso a micro escala es ofrecer grandes beneficios a nivel de balance energético. Logrando que espacios no habitables reciban un tratamiento donde el verde sea el indicador principal creando de esta forma espacios habitables y confortables.

Para la interpretación del balance energético Ochoa de la Torre realizo una tabla que nos permite interpretar esos valor (Tabla 27) la misma que la Tabla 5.

Tabla 27 Interpretación del Balance Energético de una persona

Balance energético	SCE	Interpretación
250 < B	-3	Muy caluroso
150 < B < 250	-2	Caluroso
50 < B < 150	-1	Ligeramente caluroso
-50 < B < 50	0	Confort
-150 < B < -50	1	Ligeramente frío
-250 < B < -150	2	Frío
B < - 250	3	Muy frío

Fuente: Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos.

Evaluación de varios escenarios urbanos

4 Evaluación de la vegetación en distintos escenarios urbanos en Barcelona.

La calle y la plaza son los espacios urbanos de la ciudad que permite la comunicación y convivencia de los usuarios en este entorno. Por este motivo, en esta investigación se han realizado mediciones in situ en calles y plazas de la ciudad de Barcelona. De las calles se han realizado mediciones en las calles de Carrer Bailén, Carrer Casp, Carrer Londres, Carrer Casanova y Av. Diagonal. De las plazas se han realizado mediciones in situ en Pl. Tetuán, Pl. Catalunya, Pl. Urquinaona y Pl. Universitat. Se han elegido estos puntos de mediciones por ser los espacios que ejemplifican los espacios urbanos de Barcelona.

En este apartado se desarrollaran solamente una calle y una plaza, que permita una comparación de la influencia de la vegetación en dos escenarios distintos. En ambos escenarios las especies son distintas, permitiendo evaluar más variedad de especies.

4.1 Cañón urbano y la vegetación

En el transcurso de esta investigación de las mediciones in situ realizadas se han desarrollado varias publicaciones sobre el cañón urbano y la vegetación (Ver anexo 8). Entre ellas podemos citar: “Evaluation of vegetation in urban space”. Barcelona base model and proposed to Dominican Republic (Rojas Cortorreal et al. 2016), Análisis de la Radiación Solar Directa en las Calles de Barcelona en Base a la Relación entre su Morfología y Vegetación⁶ y El Efecto del Confort Térmico Producido por la Especie Arbórea *Celtis Australis* (Almez) en el Espacio Público⁶. En estos artículos citados se han evaluado Carrer Casanova, Carrer Londres, Av. Diagonal, Plaza Tetuán y Carrer Bailén. Se realizaron mediciones in situ y simulaciones en programas informáticos.

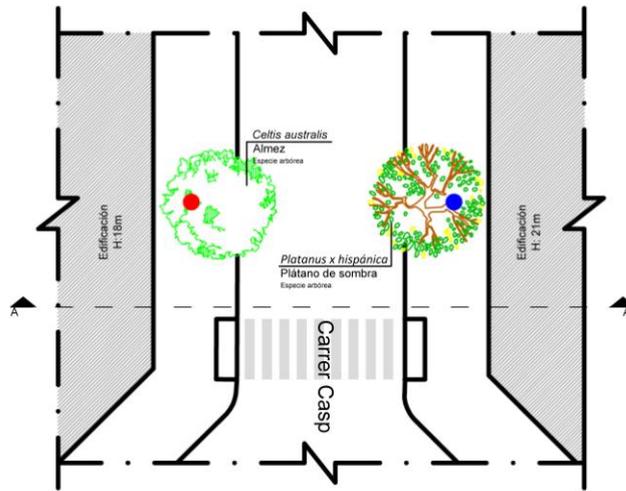
En este apartado solo desarrollaremos una calle de las realizadas. La metodología de estudio es la misma que se realizó en los casos de estudio, por este motivo solo se presentara los resultados obtenidos.

El Barrio de estudio seleccionado es la Dreta de L’Eixample. Para evaluar el comportamiento de las especies arbóreas a nivel de cañón urbano hemos seleccionado de esta zona de estudio unas tipologías de calle Carrer Casp. Dentro de esta tipología de calle las especies más utilizadas son el *Celtis australis* (Almez) y *Platanus x hispánica* (el Plátano de sombra). En este apartado se evaluará la influencia de la frondosidad de dos tipologías de especies arbóreas distintas en el cañón urbano, para de esta forma conocer el confort que cada una de ellas ofrece en las calles de la ciudad.

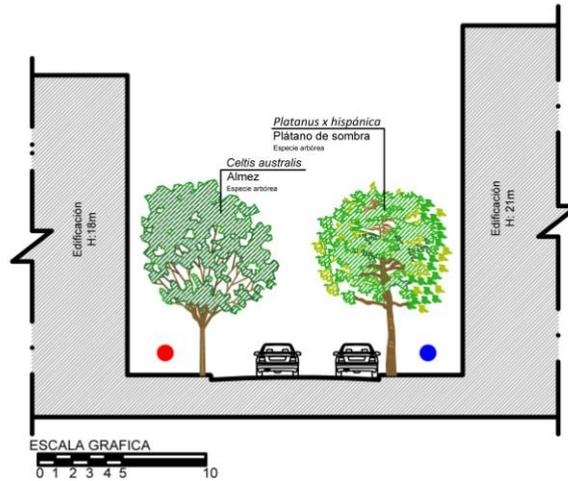
⁶ Este artículo actualmente está en revisión por la comisión editorial de la revista ACE (Arquitectura Ciudad y Entorno 2013)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 71 Representación y fotografías de los puntos de medición



Planta arquitectónica de Carrer Casp



Sección AA' Carrer Casp

Celtis australis (Almez)



Platanus x hispánica (Plátano de sombra)



Fuente: Elaboración propia.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Luego de evaluados los puntos y realizar las mediciones, se resumieron sus características en la siguiente tabla.

Tabla 28 Resumen de las características de las especies arbóreas

Ubicación					
Barcelona	Dreta d'Eixample		Carrer Casp con Carrer Bruc		
Ciudad	Distrito		Lugar		
Especie arbórea					
<i>Celtis australis</i>	Lledoner		Almez		
Científico	Catalán		Castellano		
Características Estructurales					
Esférica	Expandido		Denso		
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal					
Alternas S. Pinnadas oval dentadas	Caducifolio	Verde oscuro	Áspera	M (6 - 12)	
Tipo hoja		Color		Textura	Tamaño (cm)
Dimensiones de la especie arbórea					
8.7 m	6.5 m	125 m ³	87		
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)		
Verano			Invierno		
Frondosidad					
0.88	Densa	13%	0.40	Lig. media	60%
Frondosidad	Sombra proyectada	Permite	Frondosidad	Sombra proyectada	Permite
Balance Energético					
Confortable	Confortable	Confortable	Lig. Caluroso	Confortable	Confortable
7:00	11:00	15:00	7:00	11:00	15:00
Hora solar					

Especie arbórea					
<i>Platanus x hispánica</i>	Plátan de carrer		Plátano de sombra		
Científico	Catalán		Castellano		
Características Estructurales					
Ovoidal	Expandido		Medio		
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal					
Alternas compuestas palmadas	Caducifolio	Verde claro	Lisa	G (15-25)	
Tipo hoja		Color		Textura	Tamaño (cm)
Dimensiones de la especie arbórea					
9.10 m	6.30 m	128 m ³	90		
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)		
Verano			Invierno		
Frondosidad					
0.63	Media densa	37%	0.22	Lig. media	78%
Frondosidad	Sombra proyectada	Permite	Frondosidad	Sombra proyectada	Permite
Balance Energético					
Confortable	Confortable	Confortable	Lig. Caluroso	Lig. Caluroso	Confortable
7:00	11:00	15:00	7:00	11:00	15:00
Hora solar					

Fuente: Elaboración propia.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Procesados los datos se obtuvieron resultado de como la vegetación aporta un balance energético positivo tanto en escenarios de verano e invierno, los cuales están expuesto en la tabla anterior.

Aunque ambas especies se encuentran en la misma calle, bajo su copa el intercambio energético es diferente, se puede apreciar en la tabla la frondosidad de cada especie y la disminución que la misma crea en el transcurso del día.

Tabla 29 Resumen del análisis de las especies arbóreas de Carrer Casp en verano del 2015

Especie arbórea	Hora solar	t	Protección (Frondosidad)	Disminuye		B.E.	Interpretación de B. E.
				ΔR	ΔTr		
				S. U.	%		
Almez	7:00	0.13	88	413	4	-52	Comfortable
Plátano de sombra		0.37	63	418	4	-12	Comfortable
Almez	11:00	0.13	88	794	16	-14	Comfortable
Plátano de sombra		0.37	63	807	19	14	Comfortable
Almez	15:00	0.13	88	470	7	-13	Comfortable
Plátano de sombra		0.37	63	469	5	-15	Comfortable

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que su frondosidad es distinta pero se mantiene en los rangos de tipología de media densa y densa, por este motivo la disminución de la radiación solar es parecida, pero el Almez siempre se mantiene en un rango mayor debido a ser mayor protectora.

Al disminuir la radiación solar, se refleja en la temperatura radiante logrando disminuciones en un rango de 4 a 19°C. Estos valores se reflejan en el confort térmico logrando un intercambio energético favorable ya que se aprecia un confort constante a lo largo del día.

Esto demuestra que aunque las especies sean distintas en frondosidad ofrecen un estado de confort constante durante un día caluroso de verano en las calles de la ciudad.

Planteando el mismo escenario pero en ausencia de la vegetación se puede apreciar las consecuencias producidas. Demostrando de esta forma como sería el intercambio energético de una persona pero en un día de verano en las calles de la ciudad.

El resultado obtenido es que una calle en la ciudad de Barcelona en carencia de la vegetación el usuario tendría un dis-confort térmico constante ya que su intercambio energético sería entre un estado de ligero calor a caluroso. Esto convertiría las calles de la ciudad poco transitadas produciendo que los espacios interiores tengan un aumento consumos anuales de calefacción y refrigeración.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 30 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación en Carrer Casp verano del 2015

Especie arbórea	Hora solar	Con vegetación	Interpretación de B. E.	Sin vegetación	Interpretación de B. E.
		B.E.		B.E.	
		W/m ²		W/m ²	
Almez	7:00	-52	Comfortable	145	Lig. caluroso
Plátano de sombra		-12	Comfortable	179	Caluroso
Almez	11:00	-14	Comfortable	172	Caluroso
Plátano de sombra		14	Comfortable	222	Caluroso
Almez	15:00	-13	Comfortable	26	Comfortable
Plátano de sombra		-15	Comfortable	107	Lig. caluroso

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron las mismas mediciones en invierno, para evaluar como el ramaje de la vegetación influye en el intercambio energético de las personas en las calles, ya que estas especies son caducifolias. Los resultados obtenidos demuestran que el ramaje de la vegetación logra obstruir un porcentaje de cielo visible pero permite en mayoría el paso de la radiación solar, de esta forma aporta calor al cuerpo del usuario en estaciones de frío.

Tabla 31 Resumen del análisis de las especies arbóreas de Carrer Casp en invierno del 2016

Especie arbórea	Hora solar	t S. U.	Protección (Frondosidad) %	Disminuye		B.E. W/m ²	Interpretación de B. E.
				ΔR W/m ²	ΔTr °C		
				Almez	7:00		
Plátano de sombra	0.78	22	87	1		83	Comfortable
Almez	11:00	0.60	40	397	5	61	Comfortable
Plátano de sombra		0.78	22	365	7	90	Lig. caluroso
Almez	15:00	0.60	40	61	-2	-5	Comfortable
Plátano de sombra		0.78	22	54	0	-4	Comfortable

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en la tabla un estado de confort constante y ligeramente caluroso que en caso de invierno se puede interpretar como confort debido a la vestimenta.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Planteamos el escenario sin vegetación para evaluar el intercambio producido. Se puede apreciar en la Tabla 32 esta comparación de resultados. Se puede apreciar que en ausencia de la vegetación y con ella en las calles de la ciudad el intercambio es similar, ya que en ambos se logra un estado constante de confort y ligeramente caluroso (se puede traducir como un estado de confort por la vestimenta). Comprobando que en climas como el mediterráneo las especies arbóreas caducifolias son las más idóneas, ya que gracias a su función de perder las hojas en ciertas estaciones del año permite aportación o disminución del intercambio energético con el ambiente.

Tabla 32 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación en Carrer Casp invierno 2016

Especie arbórea	Hora solar	Con vegetación	Interpretación de B. E.	Sin vegetación	Interpretación de B. E.
		B.E.		B.E.	
		W/m ²		W/m ²	
Almez	7:00	60	Lig. caluroso	145	Lig. caluroso
Plátano de sombra		83	Confortable	-46	Confortable
Almez	11:00	61	Confortable	172	Lig Caluroso
Plátano de sombra		90	Lig. caluroso	33	Confortable
Almez	15:00	-5	Confortable	26	Confortable
Plátano de sombra		-4	Confortable	-44	Confortable

Esta evaluación comprueba que la vegetación es una herramienta más idónea para generar confort urbano en el transcurso del año gracias a la plantación a la especie arbórea correcta, confirmando que para la realización de un buen diseño urbano se debe conocer la influencia de cada especie en el confort de los usuarios ya que esta es la que refleja si el espacio tendrá un mayor uso o no, creando calles más transitadas y menos personas en espacios interiores de los edificios disminuyendo los consumos energéticos.

4.2 Análisis de una plaza y la vegetación

Barcelona cuenta con un reconocimiento de ser una ciudad que piensa en la integración del usuario con el exterior y la importancia de las plazas. Esto es gracias a su gran diversidad de espacios urbanos entre ellos las plazas. En el transcurso de esta investigación se han realizado mediciones de cuatro plazas de la ciudad las cuales son Pl. Tetuán, Pl. Universitat, Pl. Catalunya y Pl. Urquinaona de las cuales se han realizado publicaciones de una de ellas, entre ellos podemos citar: El Efecto del Confort Térmico Producido por la Especie Arbórea *Celtis Australis* (Almez) en el Espacio Público⁷.

En este apartado solo se expondrá una de las cuatro plazas evaluadas. La metodología de evaluación es la misma que la utilizada en los casos de estudio. Expondremos la Plaza Catalunya por ser un icono y centro de la ciudad, por lo que el tránsito de los usuarios en ella es muy alta.

4.2.1 Análisis de una plaza.

Plaza Catalunya

Localización

Plaza Cataluña es la plaza más grande de España con una superficie de 30,000 metros cuadrados, convirtiéndola en el centro de la ciudad. Es el punto de unión entre el Casco antiguo y el Ensanche, un punto de partida que permite el acceso a varias zonas de interés de la ciudad. El casco antiguo se compone por cuatro zonas las cuales son El barrio Gótico, El Raval, La Barceloneta y El Borne.

Ilustración 72 Localización de Plaza Catalunya.



Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps.

⁷ Este artículo actualmente está en revisión por la comisión editorial de la revista ACE (Arquitectura Ciudad y Entorno 2013)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

El Ensanche consta de seis barrios los cuales son La Dreta de l'Eixample, La Antigua Izquierda del Ensanche, La Nueva Izquierda del Ensanche, Fuerte Pío, Sagrada Familia y San Antonio. Su diseño es circular, permitiendo que se cree circulación cruzada. Compuesta por espacios de estancia como de paso. La vegetación predominante en el interior de la plaza es la especie arbórea *Quercus ilex* (Encina).

En este caso de estudio evaluaremos el estado de confort (Balance energético) producido por esta especie arbórea en Plaza Cataluña, permitiéndonos conocer el estado de los usuarios en este espacio público tan concurrido por personas. Como ya se ha evaluado esta especie arbórea se extrapolara los resultados obtenidos de frondosidad, ya posee características similares.

Ilustración 73 Plaza Catalunya.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluados los puntos y realizar las mediciones, se resumieron sus características en la siguiente tabla. Se realizó la misma metodología que el apartado de los casos de estudio, por lo que solo se expondrá los resultados en esta Tabla 33. Se debe tomar en cuenta que la Plaza cuenta con una gran variedad de Encina, creando un techo de protección alrededor de la plaza en las áreas de tránsito y de estancia.

Procesados los datos se obtuvieron resultado de cómo esta especie arbórea aporta un balance energético positivo tanto en escenarios de verano e invierno. Este confort se ve proyectado en que sea una plaza muy concurrida por una gran variedad de personas durante todo el año.

La simulación arrojo que en ciertas horas del año se refleje un estado en el balance energético de ligeramente frío, esto se debe a que el cuerpo se encuentra en un intercambio donde el

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

cuerpo pierde más calor que el que absorbe por lo que este resultado se puede interpretar como un estado de confort.

Tabla 33 Resumen de las características de las especies arbóreas *Quercus ilex* en Plaza Catalunya

Ubicación					
Barcelona	Dreta d'Eixample		Plaza Catalunya		
Ciudad	Distrito		Lugar		
Especie arbórea					
<i>Quercus ilex</i>	Alzina de fulla llarga		Encina		
Científico	Catalán		Castellano		
Características Estructurales					
Esférica/eclíptica	Tortuoso		Densa		
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal					
Alternas simples pinnadas oval d.	Perenne	Verde oscuro br.	coriácea	P (4-7)	
Tipo hoja	Color		Textura	Tamaño (cm)	
Dimensiones de la especie arbórea					
Variada	Variada	Variada	Variada		
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco		
Verano			Invierno		
Frondosidad					
0.84	Densa	16%	0.77	Media densa	25%
Frondosidad	Sombra proyectada	Permite	Frondosidad	Sombra proyectada	Permite
Balance Energético					
Confort	Confort	Lig. Frio	Confort	Lig. Calor	Confort
7:00	11:00	15:00	7:00	11:00	15:00
Hora solar					

Fuente: Elaboración propia.

Planteando el mismo escenario pero en ausencia de la vegetación se puede apreciar las consecuencias producidas. Demostrando de esta forma como sería el intercambio energético de una persona pero en la plaza durante estas dos estaciones del año.

El resultado obtenido es un estado de dis-confort térmico durante todo el día en las dos estaciones del año. El intercambio energético producido por la ausencia de la vegetación es un estado de calor constante que aumenta o disminuye en el día, esto es debido a la alta aportación recibida a través de la radiación solar y la superficie del suelo. Esto convertiría la plaza en un lugar poco transitadas produciendo que los espacios interiores con aire acondicionado y calefacción sean de mayor uso, creando un aumento consumos anuales de calefacción y refrigeración.

Sin embargo, en el escenario con vegetación muestra como se está en un confort constante, comprobando que es una herramienta que permite crear un micro clima logrando confort de las personas que residan en ese espacio.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 34 Comparación de escenarios con y sin vegetación en Pl. Catalunya

Especie arbórea	Hora solar	Con vegetación	Interpretación de B. E.	Sin vegetación	Interpretación de B. E.
		B.E.		B.E.	
		W/m ²		W/m ²	
Verano 2015	7:00	-29	Comfortable	177	Caluroso
Invierno 2016		-24	Comfortable	74	Lig. caluroso
Verano 2015	11:00	-23	Comfortable	120	Lig. caluroso
Invierno 2016		41	Comfortable	258	Muy caluroso
Verano 2015	15:00	-60	Comfortable	80	Lig. caluroso
Invierno 2016		34	Comfortable	236	Caluroso

Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Extrapolación de metodología a otro clima

Características de la Especie arbórea

El *Delonix regia* conocida por su nombre común Flamboyán, Árbol de la llama o Flamboyán pertenece a la familia de Fabáceas (Caesalpiniaceae) (Ilustración 75). Su origen es de Madagascar. Es una especie arbórea que según su condiciones climáticas puede ser caduca (Climas fríos), semiperenne (temperaturas entre 10°C y 18 °C) o perenne (Climas cálidos), ya que es sensible al frío.

Su época de floración es en primavera. Su altura está entre los rangos de 6 - 8 metros se denomina como una especie de tamaño grande y con un diámetro de copa entre 6-12m. Sus características estructurales la definen como una especie arbórea de forma parasol, de ramaje tortuoso y una densidad de ramaje media. Las características morfológicas vegetal se puede definir como una especie de hoja compuesta bipinnadas con un tamaño de 30 a 50 cm, de hojas color verde claro y liso.

En la ciudad de Santo Domingo esta especie arbórea es utilizada en el ámbito urbano como elemento ornamental en calles, parques y plazas. En este caso de estudio elegimos la especie arbórea ubicada en el Parque Mirador Sur, como podemos ver en la Ilustración 74.

Ilustración 75 Especie arbórea *Delonix regia*, Parque Mirador Sur.



Fuente: Elaboración propia.

Se evaluaron las características estructurales, morfológicas, frondosidad y la sombra proyectada para de esta forma determinar el confort producido por esta especie arbórea (Tabla 35)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Tabla 35 Resumen de las características de la especie arbórea *Delonix regia*, Parque Mirador Sur

Ubicación				
Santo Domingo	Santo Domingo centro	Parque Mirador Sur		
Ciudad	Distrito	Lugar		
Especie arbórea				
<i>Delonix regia</i>		Flamboyán		
Científico	Catalán	Castellano		
Características Estructurales				
Parasol	Tortuoso	Media		
Forma	Ramaje	Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal				
Compuestas bipinnadas	Perenne	Verde claro	Lisa	G (30 a 50)
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)
Dimensiones de la especie arbórea				
7.3 m	8.5 m	163 m ³	130 cm	
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)	

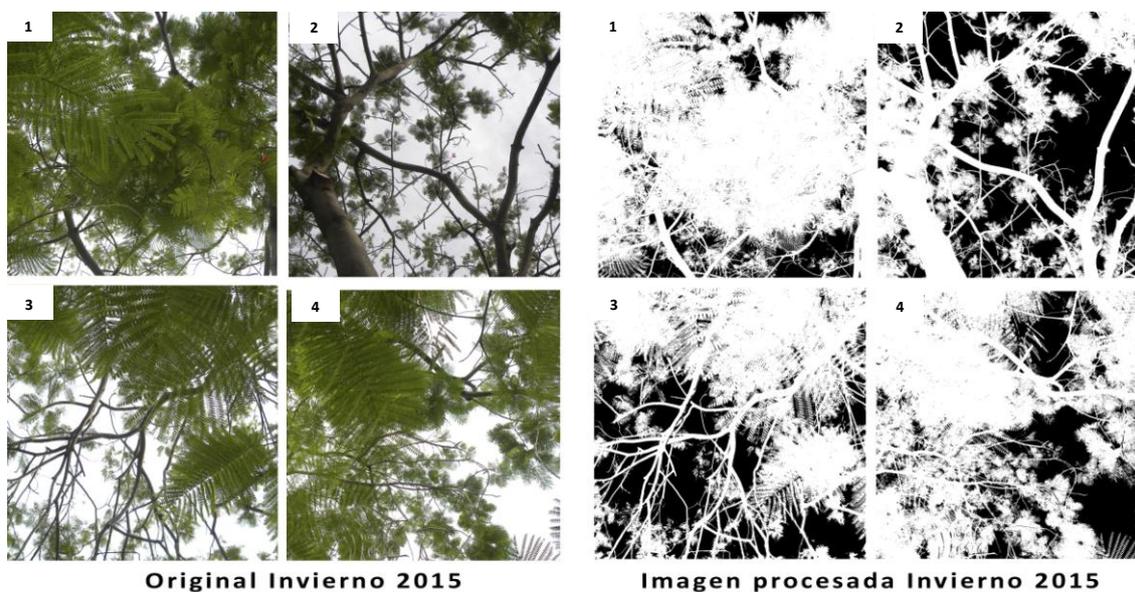
Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Caracterización de la frondosidad

Copa del árbol

En el análisis de la frondosidad se realizaron cuatro tomas fotográficas en invierno del 2015 (Ilustración 76), para evaluar el comportamiento de la especie en las condiciones ambientales. Luego fueron procesadas en el programa ImagenJ.

Ilustración 76 Análisis de frondosidad de la *Delonix regia* en invierno 2016



Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

En la Ilustración 76 se puede apreciar los resultados obtenidos del procesamiento de imágenes. Debido a las características estructurales del Flamboyán se observa en la ilustración la irregularidad en su ramaje. Para esta época de invierno ya había perdido un poco sus hojas.

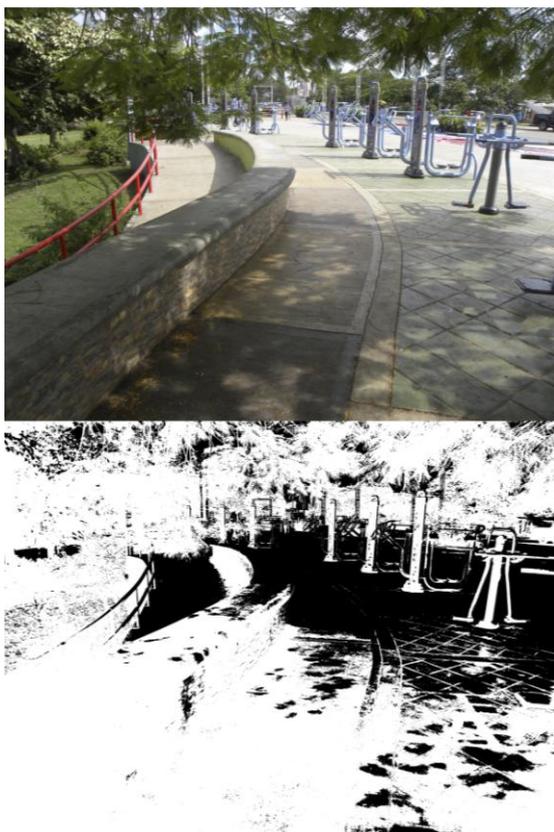
En invierno del 2015 la especie se encuentra en su estado de pérdida de densidad de hojas, por este motivo se logra ver esta disposición de huecos en algunas zonas de la imagen. Debido a la forma compuesta de sus hojas logra cubrir una gran porción de cielo aunque su densidad sea menor que en verano. Para épocas de verano el escenario es similar pero con más densidad y floración, permitiendo una mayor frondosidad.

Los resultados obtenidos en invierno del 2015 es una frondosidad de 0.67 que permite el paso de un 33% de cielo en invierno. Bajo estas condiciones se estima que en verano su frondosidad podría ser de un 10% más, ósea de un 23% logrando una frondosidad de 0.77.

Sombra proyectada

Evaluamos la sombra para observar que tanto logra proteger esta frondosidad a las superficies urbanas. Se utilizará la misma metodología de evaluación de imágenes con el programa ImageJ.

**Ilustración 77 Análisis sombra proyectada de la
especie *Delonix regia* en invierno 2015**



Invierno 2015

Fuente: Elaboración propia.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Se puede apreciar en la Ilustración 77 la sombra proyectada en invierno del 2015 por el Flamboyán a las 11 horas solares. Procesada la imagen se puede observar que sus hojas logran crear una sombra determinante que puede proteger un gran porcentaje de la superficie del suelo.

Concluimos que el tipo de sombra del flamboyán es media densa por su densidad de sombra protectora de las superficies urbanas, que permite el paso de un 33% en invierno. Se estima en ese caso que para épocas de verano el flamboyán tendría una sombra proyectada densa. Dando como resultado pocas aportaciones de temperatura radiante a las superficies del suelo.

Luego de realizado el análisis se ha procedido a realizar una tabla donde se resume los detalles de mayor valor de la especie arbórea. Es este caso la ubicación, tipología de especie, características estructurales, morfológicas vegetal, dimensiones y frondosidad (Tabla 36). Estos datos serán utilizados en el cálculo del balance energético junto con los datos de mediciones in-situ.

Tabla 36 Resumen de las características de la especie arbórea *Delonix regia* de Mirador Sur

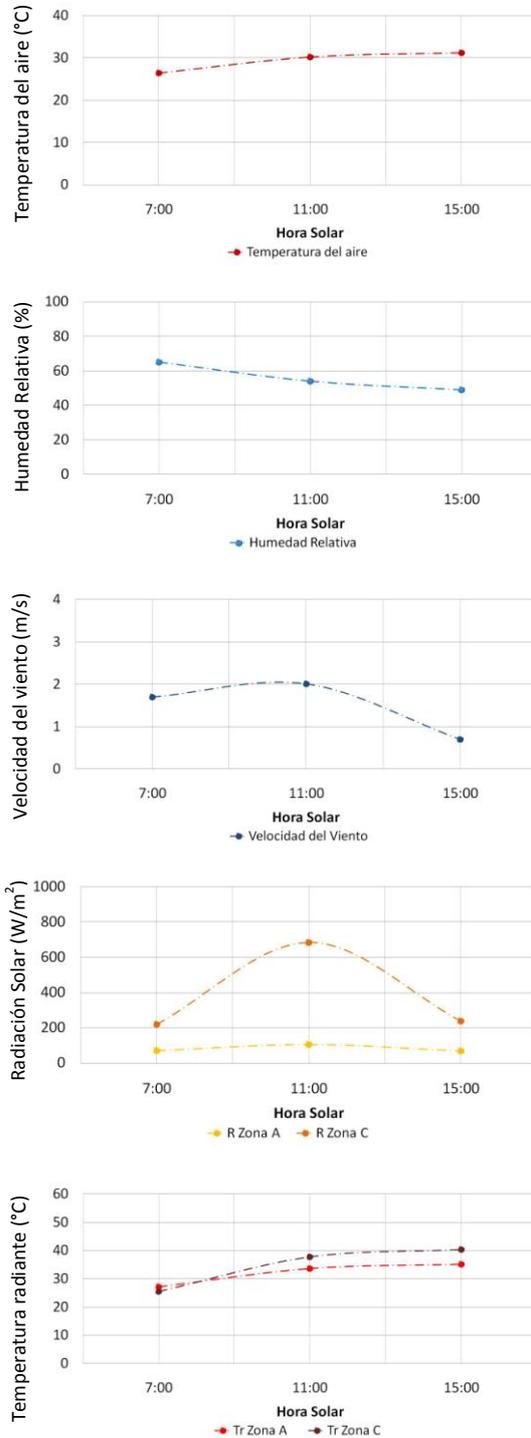
Ubicación					
Santo Domingo	Santo Domingo centro	Parque Mirador Sur			
Ciudad	Distrito	Lugar			
Especie arbórea					
<i>Delonix regia</i>	-	Flamboyán			
Científico	Catalán	Castellano			
Características Estructurales					
Parasol	Tortuoso	Media			
Forma	Ramaje	Densidad de ramaje			
Características morfológica vegetal					
Compuestas bipinnadas	Perenne	Verde claro	Lisa	30 a 50 (G)	
Tipo hoja		Color	Textura	Tamaño (cm)	
Dimensiones de la especie arbórea					
7.3 m	8.5 m	163 m ³	130		
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)		
Frondosidad					
Verano (Estimación)			Invierno		
0.77	Densa	23%	0.67	Media densa	33%
Frondosidad	Sombra proyectada	Permite	Frondosidad	Sombra proyectada	Permite

Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

5.1.2 Repercusión de la frondosidad sobre las condiciones ambientales

Ilustración 78 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en invierno de la especie arbórea *Delonix regia*



Fuente: Elaboración propia.

Mediciones in-situ en invierno del 2015

Las mediciones de invierno se realizaron el 19 de Diciembre del 2015. Las condiciones climáticas fueron un día soleado y un cielo despejado (Ilustración 78)

La temperatura del aire en el transcurso del día estuvo entre el rango de 26 a 31°C, por lo que fue un día caluroso en invierno.

La humedad relativa estuvo en rangos de 54 - 65%, la cual disminuyó en respuesta al aumento de temperatura del aire en el transcurso del día.

La velocidad del viento fue constante en el transcurso del día empezó a disminuir ya a finales de la tarde, su rango fue constante entre 1 - 2 m/s.

En estos parámetros ambientales (Ta, HR y V) el Flamboyán no logra un grandes cambios ya que para lograr modificaciones apreciables debe existir una mayor densidad de árboles.

La radiación solar y en la temperatura radiante se puede apreciar el aporte de la vegetación.

En la radiación solar la Encina logra disminuir hasta 580 W/m², siendo está la mayor registrada. Esto es un valor muy significativo para las aportaciones que podría recibir el cuerpo humano.

En la temperatura radiante el Flamboyán logro disminuir hasta 5°C. En el transcurso del día se registraron diferencias de Tr entre la Zona A y Zona C entre rangos de 2 a 5°C.

Esta disminución en la radiación solar y en la temperatura radiante se transforma en menos aportaciones al ambiente y a la persona.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

5.1.3 Evaluación del confort humano.

Para la evaluación del confort se ha utilizado la fórmula del balance energético de (Ochoa de la Torre 1999)(Ochoa de la Torre 2009)(anexo 1) se utilizaron las mediciones in-situ y la frondosidad para conocer el intercambio térmico de una persona bajo la copa del árbol.

Ilustración 79 Balance Energético producido por la *Delonix regia* en Invierno 2015



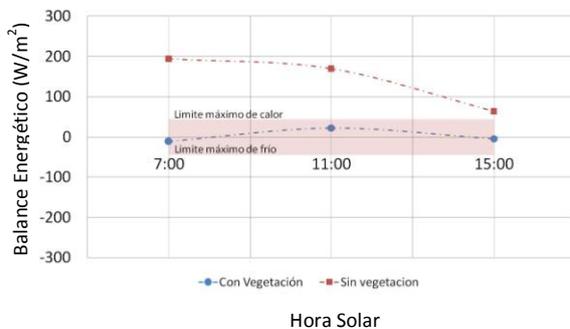
Fuente: Elaboración propia.

El balance energético producido por el Flamboyán en invierno del 2015 se proyectó en un rango de -11 a -4 W/m², esto se interpreta como un estado constante de confort en el transcurso del día (Ilustración 79).

A las 7:00 hora solar es el rango menor registrado, creando un estado de fresco. Aunque este intercambio térmico aumenta en el día, siempre se mantiene dentro de los umbrales aceptables. Al medio día el B. E. es de 22 W/m², esto se interpreta como en un estado de confort y al caer la tarde este balance disminuye a -4 W/m², esto se interpreta en una tarde fresca de invierno.

Para evaluar la aportaciones que logra el Flamboyán, propondremos el mismo escenario pero en ausencia del árbol (Ilustración 80).

Ilustración 80 Balance Energético en ausencia de la vegetación Invierno 2015



Fuente: Elaboración propia.

El balance energético producido en ausencia del Flamboyán en invierno del 2015 se proyectó en un rango de 63 a 194 W/m².

Esto quiere decir que en horas de la mañana el estado de una persona es caluroso ya que su B. E. es de 194 W/m², que disminuye al medio día a 170 W/m² en un estado caluroso y disminuye al caer la tarde registrando 63 W/m², llegando a un estado de de ligeramente caluroso.

El balance energético de una persona en la Zona A en el Flamboyán en el transcurso del día en invierno siempre se mantiene en umbrales de confort. En este resultado se puede ver los resultados obtenidos de una disminución de la temperatura radiante de hasta 5 °C, una sombra media densa y una protección por parte de la frondosidad de un 0.67.

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Tabla 37 Comparación de escenarios con y sin vegetación del Flamboyán en Santo Domingo

Estación del año	Hora solar	Con vegetación	Interpretación de B. E.	Sin vegetación	Interpretación de B. E.
		B.E.		B.E.	
		W/m ²		W/m ²	
Invierno 2015	7:00	-11	Comfortable	194	Caluroso
Invierno 2015	11:00	-22	Comfortable	170	Caluroso
Invierno 2015	15:00	-4	Comfortable	63	Lig. caluroso

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados obtenidos se estima que para la estación de verano, el Flamboyán ofrecerá una calidad mayor de confort. Al final concluimos con una ficha técnica del confort producido por esta especie arbórea.

Tabla 38 Resumen de las características de las especies arbóreas Flamboyán

Ubicación					
Santo Domingo	Santo Domingo centro	Parque Mirador Sur			
Ciudad	Distrito	Lugar			
Especie arbórea					
<i>Delonix regia</i>	-	Flamboyán			
Científico	Catalán	Castellano			
Características Estructurales					
Parasol	Tortuoso		Media		
Forma	Ramaje		Densidad de ramaje		
Características morfología vegetal					
Compuestas bipinnadas	Perenne	Verde claro	Lisa	G (30 a 50)	
Tipo hoja	Color		Textura	Tamaño (cm)	
Dimensiones de la especie arbórea					
7.3 m	8.5 m	163 m ³	130		
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco (cm)		
Frondosidad					
Verano (Estimación)			Invierno		
0.77	Densa	23%	0.67	Media densa	33%
Frondosidad	Sombra proyectada	Permite	Frondosidad	Sombra proyectada	Permite
Balance Energético					
Confort	Confort	Confort	Caluroso	Caluroso	Lig. caluroso
7:00	11:00	15:00	7:00	11:00	15:00
Hora solar					

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones generales

6 Conclusiones generales

Esta investigación se ha enfocado en la aportación que puede lograr una especie arbórea determinada al confort térmico urbano. El árbol es un elemento vivo que, al igual que el ser humano, varía según su procedencia o familia, por este motivo se ha constatado la importancia de caracterizar las variables que lo definen como el estudio de las normativas y criterios de gestión (Parte 1). En esta tesis se han estudiado las variables del árbol que pueden influir de forma más significativa en las condiciones climáticas del entorno, identificándose la frondosidad de la especie arbórea como la característica de mayor relevancia (Parte 2). El presente estudio se ha desarrollado en dos ubicaciones con climas diferenciados: climas el Mediterráneo (Barcelona, España) y el Cálido Húmedo (Santo Domingo, República Dominicana).

Esta investigación ha constatado que las características morfológicas como el tipo de hoja y estructurales como su forma y ramaje son variables que juegan un papel decisivo en el comportamiento energético del árbol. Por ejemplo, podemos ver que el plátano de sombra obstruye menos la radiación solar que la encina, a pesar de tener hojas de mayores dimensiones, debido a las diferencias en la densidad de hojas. Se demuestra además que, aunque una especie arbórea tenga el mismo volumen de verde, sus características como tipo de hoja y densidad influyen en el nivel de protección solar que cada una pueda ofrecer.

En consecuencia, para caracterizar el comportamiento del árbol en base a la obstrucción de la radiación solar que genera, ha sido necesaria la definición de un parámetro específico, la *frondosidad*, eje central de esta investigación. Se ha determinado que las variables que permiten evaluar la frondosidad son las características estructurales, densidad de hojas y sombra proyectada.

En el caso de estudio de la ciudad de Barcelona, se ha valorizado tres tipos de especies arbóreas, seleccionadas en base a su frondosidad, para conocer la influencia de ella en las condiciones climáticas de entorno y el confort del usuario. Se han extraído conclusiones cuantitativas y cualitativas del confort térmico creado por la disminución de aportaciones térmicas (radiación solar y temperatura radiante) (Parte 3).

Los resultados obtenidos muestran que la *Parkinsonia aculeatada* (parkinsonia) debido a sus características morfológicas con una frondosidad ligera media, logra proteger las superficies urbanas de la radiación solar un 30% en verano y un 20% en invierno. A nivel de confort del usuario, este efecto supone, un balance energético caluroso/ confort en verano y ligeramente caluroso/frío en invierno.

Sin embargo, el *Platanus x hispánica* (Plátano de sombra), caracterizado por una frondosidad media densa en verano y media en invierno, disminuye la radiación incidente sobre las superficies urbanas un 78% en verano y un 35% en invierno. A nivel de confort del usuario,

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

este efecto supone un balance energético de confort en verano y ligeramente caluroso en invierno.

Por otra parte, el *Quercus ilex* (encina), con una frondosidad densa en verano y media densa en invierno, protege las superficies urbanas un 84% en verano y un 77% en invierno, consiguiendo un balance energético en verano de confort, en invierno ligeramente caluroso y confort.

En definitiva, se ha constatado que las especies arbóreas analizadas pueden reducir la radiación solar incidente entre 251 y 523 W/m², lo que supone una disminución de temperatura media radiante del suelo de 1 a 8°C.

Esta investigación también ha analizado la repercusión de la vegetación sobre el confort térmico en función de la morfología del espacio urbano en la que se inserta, diferenciando entre la tipología de cañón urbano y de plaza (Parte 4). Este documento analiza en profundidad el caso de una calle (Carrer Casp) y una plaza (Plaza Catalunya) de Barcelona, aunque se realizaron estudios de campo en otras 6 calles y 3 plazas.

Las especies arbóreas localizadas en Carrer Casp son el almez de frondosidad densa en verano y ligera media en invierno y plátano de sombra de frondosidad media densa en verano y ligera media en invierno. El resultado obtenido en Carrer Casp muestra que en ausencia de la vegetación, el usuario tendría un disconfort constante ya que su intercambio energético sería entre un estado de ligero calor a caluroso. Bajo estas condiciones, las calles de la ciudad se convertirían en espacios poco transitados, aumentando el de consumo energético de los edificios de la ciudad. Sin embargo, en el estado actual de la calle, ambas especies arbóreas aunque tengan frondosidades distintas crean un estado de confort térmico constante durante el día, permitiendo un uso intensivo del espacio tanto por parte de peatones como de ciclistas.

En Plaza Catalunya se obtuvo un balance energético constante de confort producido por el *Quercus ilex* (Encina), tanto en estaciones de invierno como verano. Planteando este escenario sin ninguna vegetación, el usuario se encontraría en un estado continuado de disconfort ya que recibiría grandes aportaciones térmicas. Con este caso de estudio se demuestra que en espacios urbanos como plazas, paseos y parques la disposición de especies arbóreas de manera grupal, permite una mayor aportación de protección de los usuarios circundantes.

Los datos demuestran que el ramaje de la vegetación logra obstruir un porcentaje de cielo visible pero permite en mayoría el paso de la radiación solar, de esta forma aporta calor al usuario en estaciones de frío. Por tanto, podemos concluir que en climas como el mediterráneo las especies arbóreas caducifolias son las más idóneas, ya que, gracias a su pérdida estacional de hojas varía el intercambio energético con el ambiente según la época del año.

A continuación, para estudiar la contribución de la vegetación al confort urbano en el caso del clima húmedo se extrapola esta metodología a la ciudad Santo Domingo (Parte 5).

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

La especie de estudio seleccionada fue la *Delonix regia* (flamboyán), de frondosidad media densa en invierno y se estima que sería densa en verano. Los resultados obtenidos muestran que esta especie genera un estado de confort constante, logrando una disminución de hasta 5°C de temperatura radiante. En su ausencia, el estado del usuario sería de calor constante, creando un estrés térmico del cuerpo. En consecuencia, el flamboyán, a pesar de que pueda afectar a su entorno por sus raíces, se recomienda para uso urbano en parques por los grandes beneficios de confort térmico que ofrece.

En base a esta investigación, se recomienda que la ciudad de Santo Domingo realice un levantamiento del arbolado urbano, gestionando sus características para implementar una intervención urbana paisajística. Como se apuntaba en el estado de arte y se ha corroborado en la evaluación de las especies medidas en esta investigación, la administración no ha previsto el espacio ni la tipología adecuada de vegetación en los espacios urbanos de la ciudad, existiendo por este motivo un sin número de problemas a nivel urbano y de confort térmico.

Se propone realizar un programa y presupuesto para la intervención en general de la ciudad, para de esta forma ofrecer a los usuarios de la ciudad un mayor confort urbano, permitiendo la convivencia de ellos en los espacios urbanos, cosa que actualmente no se vive en la ciudad.

De igual forma se propone la renovación de viveros o creación de uno en el Jardín Botánico de la ciudad, que cumplan con una normativa que permita al árbol ser un elemento factible para uso urbano.

La exportabilidad de la metodología desarrollada se ha constatado mediante su aplicación en dos ubicaciones diferenciadas. El éxito de la extrapolación confirma la posibilidad de que pueda ser usada en otros climas y con otras especies arbóreas. En definitiva, esta tesis proporciona un mecanismo que permite evaluar diferentes especies arbóreas y el confort térmico que esta crea en espacios urbanos.

La comparación de Barcelona (España) y Santo Domingo (República Dominicana), ciudades en distintas etapas de consolidación y desarrollo urbano, nos permite sacar conclusiones sobre las distintas consideraciones que de la vegetación como elemento constitutivo del proyecto de espacio público. Se destaca que en la ciudad de Barcelona, en contraposición a Santo Domingo, ha valorizado en su momento el uso de la vegetación en el espacio urbano. Ello explica que existan numerosos estudios sobre la vegetación y se han implementado metodologías para su uso a nivel urbano, lo que explica que hoy día se disponga de espacios que generan confort térmicos a los usuarios.

Por este motivo, se propone e invita a la ciudad de Santo Domingo, que está en vías de desarrollo, a valorizar más la vegetación a nivel urbano, realizando levantamiento y evaluación del arbolado urbano, que permita crear normativas para la re-arborización de la ciudad.

Se recomienda de igual forma para la ciudad de Barcelona la sustitución del *Platanus × hispánica* (Plátano de sombra), ya que presenta problemas a nivel urbano estrés hídrico y alergias (oculares y respiratorias). Debido a la cantidad de pelusa que dispersa en el aire. A

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

esto le sumamos su apariencia, hojas secas y poca frondosidad, ya que no es una especie que se adapte a la ciudad, al ser un híbrido que tiene una necesidad de suelo y humedad. En sustitución del mismo se recomienda la plantación de especies como el almez, ya aprobada para su plantación en las calles de la ciudad, incluso en algunas ya están plantadas, ofrecen los mismos beneficios de confort que el plátano de sombra.

En base a los resultados obtenidos de esta investigación, y como parte de las recomendaciones a partir de este estudio, se destaca la importancia de la planificación a largo plazo la arborización. En un término de 50 años, en el caso de la ciudad de Barcelona deben fomentarse estas especies: almez (*Celtis australis*), Tipuana (*Tipuana tipu*), Aligustre (*Ligustrum vulgare*), encina (*Quercus ilex*), árbol del amor (*Cercis siliquastrum*), entre otras.

Para la ciudad de Santo domingo, serían recomendables las siguientes: la caoba (*Swietenia mahagoni*), flamboyán (*Delonix regia*), entre otros.

Como conclusión final, se ha demostrado que:

- La comprobación de la eficacia y la importancia de la vegetación en ámbito urbano para la mitigación de las aportaciones térmicas
- La vegetación es una de las principales herramientas para la creación de espacios urbanos que logren un confort térmico a los usuarios que los disfrutan en diferentes climas (Mediterráneo y Cálido Húmedo).
- Las condiciones ambientales térmicas se ven afectas más o menos por la frondosidad de cada especie y, por este motivo, se debe conocer esta característica a la hora de implementar una determinada especie en un espacio urbano concreto

Todo profesional del diseño urbano, tales como arquitectos urbanistas, paisajistas e ingenieros necesita una herramienta que les permita a la hora de diseñar estos espacios saber elegir la tipología de vegetación idónea para el ámbito urbano. La metodología desarrollada en esta tesis realiza una aportación en esta línea, ya que la metodología desarrollada incluye la elaboración de unas fichas técnicas que resumen los datos fundamentales de cada especie.

Estos datos serán localización, nombre de la especie arbórea, características estructurales, morfológicas, dimensiones de la especie arbórea, frondosidad y balance energético. De esta forma nos permite a través de estos indicadores saber seleccionar el arbolado correcto para los espacios que serán diseñados.

6.1.1 Aportes de la investigación

En esta investigación se lograron obtener las siguientes aportaciones:

- Metodología para categorizar la frondosidad de una especie arbórea
- Verificación de la aplicabilidad de dicha metodología en diversos climas.
- Evaluación de la contribución de la vegetación al confort térmico de varios escenarios urbanos de la ciudad de Barcelona, España y Santo Domingo, República Dominicana.
- Aportaciones a la fórmula del balance Energético desarrollada por Ochoa para evaluar el confort en ambiente exterior, introduciendo el parámetro de frondosidad.
- Cuantificación de la mejora de las condiciones climática para diversas especies arbóreas con distintas frondosidades.

6.1.2 Futuras líneas de investigación

Como nuestro interés en la formación como docente

Para futuras investigaciones se proponen las siguientes líneas:

Relacionadas con la investigación.

- Influencia del arbolado del entorno sobre el consumo energético de una vivienda.

Temas relacionado con el arbolado urbano.

- Evaluación de las alergias producidas por las especies arbóreas de uso urbano
- Evaluación del confort psicológico producido por la vegetación.
- Realización de fichas técnicas en base a las tablas proporcionadas en esta investigación.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Bibliografía

7 Bibliografía

- ABREU, L. V, LABAKI, L.C. y MATZARAKIS, A., 2012. Reduction of Mean Radiant Temperature by Cluster of Trees In Urban and Architectural Planning In Tropical Climates The case of Campinas , Brazil. , no. November.
- AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN (JICA), INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SANTO DOMINGO y AYUNTAMIENTO DEL DISTRITO NACIONAL (ADN), 2010. *Los Árboles de Santo Domingo* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [http://www.adn.gob.do/joomlatools-files/docman-files/Arboles de Santo Domingo INTEC JICA ADN 2010 AR\(2\).pdf](http://www.adn.gob.do/joomlatools-files/docman-files/Arboles%20de%20Santo%20Domingo%20INTEC%20JICA%20ADN%202010%20AR(2).pdf).
- AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2011. *Gestión del arbolado viario de Barcelona* [en línea]. 2011. Barcelona: Hàbitat Urbà. Ajuntament de Barcelona. Disponible en: https://w110.bcn.cat/MediAmbient/Continguts/Vectors_Ambientals/Espais_Verds/Documents/Traduccions/Plangestionarboladoviariobcn_cast.pdf.
- ALCHAPAR, N., CORREA, E. y CANTÓN, A., 2010. Isla de calor urbana en zonas áridas. comportamiento térmico de pavimentos peatonales. , vol. 14, pp. 97-104.
- ALI-TOUDERT, F. y MAYER, H., 2007. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* [en línea], vol. 81, no. 6, pp. 742-754. [Consulta: 31 octubre 2014]. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2006.10.007. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X06002623>.
- ARBOIT, M.E., 2013. Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar : Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Hàbitat Sustentable* [en línea], vol. 3, pp. 3-18. Disponible en: <http://www.revistahabitatsustentable.cl/ojs/index.php/arquitect/article/view/591/369>.
- ARMSON, D., STRINGER, P. y ENNOS, A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening* [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 245-255. [Consulta: 8 marzo 2013]. ISSN 16188667. DOI 10.1016/j.ufug.2012.05.002. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866712000611>.
- ARQUITECTURA CIUDAD Y ENTORNO, 2013. Arquitectura, Ciudad y Entorno. *Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech* [en línea]. Disponible en: <http://revistes.upc.edu/ojs/index.php/ACE>.
- ASHRAE, 1989. 1989 ASHRAE handbook : fundamentals. En: A. GA (ed.), *ASHRAE handbook - 1989 Fundamentals*. S.l.: s.n.,
- AYUNTAMIENTO DEL DISTRITO NACIONAL (ADN) y ARQUITEXTO, 2007. Normativa para el arbolado de Santo Domingo «clasificación de plantas y tipos». En: L. ORTEGA, CARMEN; PERICHE (ed.), *Arquitexto*, 2. vol. 2, pp. 1-18.
- AZCÁRATE LUXÁN, J., JAVIER, C.C., TEJERO ENCINAS, L., ARMOUR, T. y FERNANDEZ, M., 2015. *Madrid + Natural* [en línea]. Madrid: s.n. Disponible en:

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

file:///C:/Users/etsab/Downloads/MadridNaturalESP.pdf.

- BARBIRATO, G.M., CAMAÚBA TORRES, S. y ALMEIDA LISBOA, T., 1988. Microclimatic conditions of urban public spaces in a tropical city. [en línea], pp. 3. Disponible en: http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O_2_5.pdf.
- BROWN, M.J., GRIMMOND, S. y RATTI, C., 2001. Comparison of Methodologies for Computing Sky View Factor in Urban Environments. *Proceedings of the 2001 International Symposium on Environmental Hydraulics*, pp. 6.
- BROWN, R.D. y GILLESPIE, T.J., 1995. *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort And Energy Efficiency*. New York: s.n.
- CANTÓN, M., CORTEGOSO, J.L. y DE ROSA, C., 2000. Evaluación energética – ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* [en línea], vol. 4, pp. 13-17. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t001-a003.pdf>.
- CANTÓN, M. y FERNÁNDEZ LLANO, J., 2007. Comportamiento térmico de verano de diferentes configuraciones de sombra en patios urbanos emplazados en climas áridos. , vol. 11, pp. 89-95.
- CARRASCO ALDUNATE, C., 2008. *Morfología y microclima urbano*. S.l.: Universitat Politècnica de Catalunya.
- CORREA, E.N., RUIZ, M.A. y CANTÓN, M.A., 2010. Morfología forestal y confort térmico en «ciudades oasis» de zonas áridas. , pp. 119-137.
- DEAR, R.J., RING, J.W. y FANGER, P.O., 1993. Thermal Sensations Resulting From Sudden Ambient Temperature Changes. *Indoor Air* [en línea], vol. 3, no. 3, pp. 181-192. ISSN 0905-6947. DOI 10.1111/j.1600-0668.1993.t01-1-00004.x. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0668.1993.t01-1-00004.x>.
- DIRECTION DES ESPACES VERTS ET DE L'ENVIRONNEMENT, 2014. The Paris greening programme. *Plataforma Urbana* [en línea], no. November, pp. 1-3. Disponible en: <http://cdn.plataformaurbana.cl/wp-content/uploads/2015/10/programa-de-areas-verdes-paris-2020.pdf>.
- ECHAVE MARTINEZ, C., 2007. *Ver des de la ciudad. Potencial de habitabilidad térmica en espacios urbanos*. [en línea]. S.l.: Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible en: http://issuu.com/cynthiaechave/docs/ver-des_de_la_ciudad_cynthia_echave.
- EQUIPO DE PLATAFORMA URBANA, 2016. Presentan catálogo de ideas para enfrentar el cambio climático en Madrid, Plataforma Urbana. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 2015-2017. Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/12/17/presenta-catalogo-de-ideas-para-enfrentar-el-cambio-climatico-en-madrid/>.
- ERGA, 2007. Confort Térmico. 99 [en línea]. [Consulta: 5 diciembre 2015]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/FichasNotasPracticas/Ficheros/np_enot_99.pdf.

FANGER, P.O., 1972. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

- FRANCO, J.T., 2016. Modificando temporalmente la ciudad : espacios urbanos experimentales en Aarhus , Dinamarca. *Plataforma Urbana* [en línea], Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/02/01/modificando-temporalmente-la-ciudad-espacios-urbanos-experimentales-en-aarhus-dinamarca/>.
- GERENCIA DE URBANISMO y AYUNTAMIENTO DE SEVILLA, 2008. *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0681581.pdf>.
- GIVONI, B., 1969. *Man, Climate and Architecture*. S.l.: s.n.
- GODOY MUÑOZ, A., 2012. *El confort térmico adaptativo: aplicación en la edificación en España*. S.l.: s.n.
- GÓMEZ-MUÑOZ, V.M., PORTA-GÁNDARA, M. a. y FERNÁNDEZ, J.L., 2010. Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 94, no. 3-4, pp. 149-157. [Consulta: 15 enero 2015]. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2009.09.002. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204609001881>.
- IMAGEN PROCESSING AND ANALYSIS IN JAVA, 2011. *ImagenJ* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. 1.6.0. Disponible en: <https://imagej.nih.gov/ij/>.
- LEHMANN, I., MATHEY, J., RÖSSLE, S., BRÄUER, A. y GOLDBERG, V., 2014. Urban vegetation structure types as a methodological approach for identifying ecosystem services – Application to the analysis of micro-climatic effects. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 42, pp. 58-72. [Consulta: 15 enero 2015]. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2014.02.036. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X1400096X>.
- LIBROVISIÓN, 2012. Imágenes Binarias. En: E. DE LA FUENTE LÓPEZ y F.M. TRESPADERNE (eds.), *Visión Artificial Industrial. Procesamiento de Imágenes para Inspección Industrial y Robótica* [en línea]. Valladolid. Valladolid: s.n., pp. 59-96. ISBN 978-84-8448-730-2. Disponible en: <http://www.librovision.eii.uva.es/pdf/cap4.pdf>.
- MAKAREMI, N., SALLEH, E., JAAFAR, M.Z. y GHAFARIANHOSEINI, A., 2012. Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Building and Environment* [en línea], vol. 48, pp. 7-14. [Consulta: 25 noviembre 2014]. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2011.07.024. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311002381>.
- MARCANO M., J.E., 2013. Mi pais Republica Dominicana. 2009 - 2013 [en línea]. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/mipais/geografia/province/>.
- MARTÍNEZ GAETE, C., 2016a. ' Verde cerca de mí ' invita a los parisinos a ser jardineros en sus barrios. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 2-4. Disponible en: http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/780720/verde-cerca-de-mi-invita-a-los-parisinos-a-ser-jardineros-en-sus-barrios?utm_source=dlvr.it&utm_medium%E2%80%A6.
- MARTÍNEZ GAETE, C., 2016b. Índice de Desempeño Ambiental 2016 : contaminación del aire afecta a la mitad de la población global. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 2-4. Disponible

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/02/09/indice-de-desempeno-ambiental-2016-contaminacion-del-aire-afecta-a-la-mitad-de-la-poblacion-global/>.

MARTÍNEZ GAETE, C., 2016c. Los beneficios de tener buenos lugares en las ciudades según PPS. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 2014-2016. Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2014/11/06/los-beneficios-de-tener-buenos-lugares-en-las-ciudades-segun-pps/>.

MARTÍNEZ GAETE, C., 2016d. Nueva York logró su meta de plantar un millón de árboles ... y en menos tiempo del estimado. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 1-2. Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/01/31/nueva-york-logro-su-meta-de-plantar-un-millon-de-arboles-y-en-menos-tiempo-del-estimado/>.

MARTÍNEZ GAETE, C., 2016e. París busca que un cuarto de su superficie sean áreas verdes en 2020. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 2-5. Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/10/22/paris-busca-que-un-cuarto-de-su-superficie-sean-areas-verdes-en-2020/>.

MARTÍNEZ GAETE, C., 2016f. Reinventar París : los 22 proyectos ganadores del concurso internacional para rehabilitar sitios icónicos. *Plataforma Urbana* [en línea], pp. 1-19. Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/02/11/reinventar-paris-los-22-proyectos-ganadores-del-concurso-internacional-para-rehabilitar-sitios-iconicos/>.

MATZARAKIS, A. y AMELUNG, B., 2008. Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. [en línea], pp. 161-172. Disponible en: http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Matzarakis_wengen_ACC_30.pdf.

MAYER, H. y HÖPPE, P., 1987. Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 38, no. November, pp. 43-49. ISSN 0177798X. DOI 10.1007/BF00866252.

MÍNGUEZ MARTÍNEZ, E., CIRIQUIÁN, P.M. y MOURE, M.V., 2015. Claves Para Proyectar Espacios Públicos Confortables. Indicador del confort en el espacio público. *Plataforma Arquitectura* [en línea]. [Consulta: 21 abril 2015]. Disponible en: <http://linkis.com/VROYy>.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2012. *Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana*. 2da. Santo Domingo: Amigo del Hogar, C. por A. ISBN 978-9945-8728-4-2.

NAVÉS, F., 2005. *Arquitectura del paisaje natural*. Barcelona, Spain: Omega.

NAVÉS VIÑAS, F., PUJOL SOLANICH, J., ARGIMON DE VILARDAGA, X. y SAMPERE MONTLLÓ, L., 1995. *El Árbol en Jardinería y Paisajismo*. Omega, S. Barcelona: Spain. ISBN 84-282-1042-X.

OCHOA DE LA TORRE, J.M., 1999. *La Vegetación como instrumento para el control microclimático*. Barcelona, Spain: Universidad Politecnica de Catalunya.

OCHOA DE LA TORRE, J.M., 2009. *Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos*. 1ª. Barcelona, Spain: UE. ISBN 978-84-936972-3-5.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

- OCHOA DE LA TORRE, J.M. y SCUDO, G., 2003. *Spazi verdi urbani*. Napoli: Sistemi Editoriali.
- OKE, T.R., 1988. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 11, no. 1-3, pp. 103-113. ISSN 03787788. DOI 10.1016/0378-7788(88)90026-6. Disponible en: https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjOi_eDkM_MAhVEND4KHTJrD68QFggqMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffile.PostFileLoader.html%3Fid%3D54c7f9d5d2fd64b80f8b45ef%26as%2FsetKey%3DAS%253A27368284746957.
- PALOMARES, F.J., 2011. *La intervención contemporánea de los habitantes en los espacios abiertos urbanos. Caso de estudio zona sur del Centro Histórico de la Ciudad de México*. [en línea]. S.l.: UNAM. Disponible en: <https://arqjespalfra.wordpress.com/hacia-una-definicion-de-los-espacios-abiertos-urbanos/>.
- PICOT, X., 2004. Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 36, no. 4, pp. 329-334. [Consulta: 9 enero 2015]. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2004.01.044. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778804000404>.
- ROBITU, M., MUSY, M., INARD, C. y GROLEAU, D., 2006. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. *Solar Energy* [en línea], vol. 80, no. 4, pp. 435-447. [Consulta: 21 mayo 2013]. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2005.06.015. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X05002574>.
- ROCHA, L., 2016. En las calles que no tienen árboles la temperatura aumenta hasta 9 ° C. *La Nación* [en línea]. 2016. pp. 2-4. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1873631-arboles>.
- ROJAS CORTORREAL, G.M., ROSET, J. y NAVÉS, F., 2013. «*La vegetación tropical en el confort climático urbano*» *Aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona España*. S.l.: Universidad Politécnica de Cataluña.
- ROJAS CORTORREAL, G.M., ROSET, J., NAVÉS, F., LÓPEZ ORDÓÑEZ, C. y VIDMAR, J., 2016. Evaluation of vegetation in urban space” Barcelona base model and proposed to Dominican Republic. *Europe and the Mediterranean: Towards a Sustainable Built Environment* [en línea], no. 78-99957-0-935-8, pp. 195-206. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/301821452_Evaluation_of_vegetation_in_urban_space_Barcelona_base_model_and_proposed_to_Dominican_Republic.
- SERRA, R., 2002. *Arquitectura Y Climas* [en línea]. 2002. Barcelona, Spain: Gustavo Gili. ISBN 84-252-1767-9. Disponible en: <http://www.casadellibro.com/libro-arquitectura-y-climas/9788425217678/646096>.
- SERRA FLORENSA, R. y COCH, H., 2009. *Arquitectura y energía natural*. Universita. Barcelona, Spain: Arquitect. ISBN 978-84-8301-497-4.
- SOLÉ SUGRAÑES, L., 2016. Binarización de las Imágenes. *Digital Image System* [en línea]. [Consulta: 5 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.dimages.es/TutorialA.l/segmentacion/binaria.htm>.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

SPAGNOLO, J. y DE DEAR, R., 2003. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* [en línea], vol. 38, no. 5, pp. 721-738. ISSN 03601323. DOI 10.1016/S0360-1323(02)00209-3. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132302002093>.

TIPOS, 2016. Tipos de climas. *Enciclopedia de Clasificaciones* [en línea]. [Consulta: 1 julio 2016]. Disponible en: <http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/28-tipos-de-clima/>.

TUMINI, I., 2012. *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. [en línea]. S.l.: Universidad Politecnica de Arquitectura de Madrid. Disponible en: http://oa.upm.es/14893/1/IRINA_TUMINI.pdf.

WANG, Y. y AKBARI, H., 2014. Effect of Sky View Factor on Outdoor Temperature and Comfort in Montreal. *Environmental Engineering Science* [en línea], vol. 31, no. 6, pp. 272-287. ISSN 1092-8758. DOI 10.1089/ees.2013.0430. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84904165339&partnerID=tZOtx3y1>.

YAHIA, M.W. y JOHANSSON, E., 2014. Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria—The example of residential spaces with detached buildings. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 125, pp. 1-16. [Consulta: 6 noviembre 2014]. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2014.01.014. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016920461400022X>.

<http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/28-tipos-de-clima/> (tipos de climas)

Lista de ilustraciones y tablas

8 Lista de ilustraciones y tablas

Ilustraciones

Ilustración 1 Mapa Mundi de los Tipos de Climas	25
Ilustración 2 Localización de la ciudad de Barcelona, España	26
Ilustración 3 Localización de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana.	27
Ilustración 4 Intercambio térmico del cuerpo humano con su entorno	34
Ilustración 5 Anatomía de un árbol	36
Ilustración 6 Características estructurales de la forma del árbol.	37
Ilustración 7 Forma de una árbol.....	37
Ilustración 8 Características estructurales del ramaje del árbol.	38
Ilustración 9 Morfología de la hoja.	39
Ilustración 10 Tipos de inserción de las hojas en las ramas del árbol.	40
Ilustración 11 Tipos de hojas y nerviación de hojas.....	40
Ilustración 12 Forma del limbo.	41
Ilustración 13 Forma del borde del limbo.	42
Ilustración 14 Tipologías de hojas.....	43
Ilustración 15 Tipologías de hojas (continuación)	44
Ilustración 16 Tipologías de hojas (continuación).	45
Ilustración 17 Tipologías de hojas (continuación).	46
Ilustración 19 Dimensiones de un árbol.....	47
Ilustración 18 Tamaño de de hoja	47
Ilustración 20 Comparación de frondosidades de especies arbóreas.	48
Ilustración 21 Ejemplificación de tipologías de calles y plantación arbórea	52
Ilustración 22 Ejemplificación de sección de alcorque para la plantación arbórea en calles	52
Ilustración 23 Los árboles de las calles de Barcelona	54
Ilustración 24 Poda del arbolado marcada por la distribución del cableado	59

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 25 Ejemplo de las situación de los árboles en el espacio urbano de la ciudad.	59
Ilustración 26 Esquema de Confort en un mismo Espacio Público. Superposición día/noche ...	61
Ilustración 27 Tipologías de frondosidades de especies arbóreas	69
Ilustración 28 Representación gráfica de la captura de imágenes fotográficas bajo la copa del árbol	71
Ilustración 29 Representación de una imagen binaria.....	72
Ilustración 30 Logo del programa informático ImageJ	72
Ilustración 31 Interfaz del programa informático ImageJ. Procesamiento de imagen de un árbol denso.....	72
Ilustración 32 Representación del procesamiento de una imagen de la copa del árbol a binaria	73
Ilustración 33 Representación de las tipologías de sombras evaluadas.	75
Ilustración 34 Representación gráfica de las zonas de puntos de mediciones	76
Ilustración 35 Representación gráfica de los ocho puntos de mediciones bajo la copa del árbol	77
Ilustración 36 Representación de las mediciones de la zona B	78
Ilustración 37 Bóveda celeste.....	80
Ilustración 38 Configuración geométrica de una calle.....	81
Ilustración 39 Relación del árbol con el medio ambiente y dimensiones de cada especie.	82
Ilustración 40 Localización del punto de análisis. Plaza Universitat	90
Ilustración 41 Especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i> , Plaza Universitat.	90
Ilustración 42 Análisis de frondosidad de la <i>Parkinsonia aculeata</i> en verano 2015 e invierno 2016	92
Ilustración 43 Análisis sombra proyectada de la especie <i>Parkinsonia aculeata</i> en verano e invierno	93
Ilustración 44 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i>	95
Ilustración 45 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i>	96

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 46 Balance Energético producido por la <i>Parkinsonia aculeata</i> en Verano 2015	97
Ilustración 47 Balance Energético en ausencia de la vegetación verano 2015	97
Ilustración 48 Balance Energético producido por la <i>Parkinsonia aculeata</i> en Invierno 2016.....	98
Ilustración 49 Balance Energético en ausencia de la vegetación invierno 2016	98
Ilustración 50 Localización del punto de análisis. Av. Diagonal con Pl. de Joan Carles I.....	99
Ilustración 51 Especie arbórea <i>Platanus x hispánica</i>	100
Ilustración 52 Análisis de frondosidad de la <i>Platanus x hispánica</i> en verano 2015 e invierno 2016	101
Ilustración 53 Captura de imagen fotográfica de la tipología de sombra de la especie <i>Platanus x hispánica</i> en verano e invierno.....	103
Ilustración 54 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea <i>Platanus x hispánica</i>	105
Ilustración 55 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en invierno de la especie arbórea <i>Platanus x hispánica</i>	106
Ilustración 56 Balance Energético producido por la <i>Platanus x hispánica</i> en Verano 2015	107
Ilustración 57 Balance Energético en ausencia de la vegetación en verano 2015	107
Ilustración 58 Balance Energético producido por la <i>Platanus x hispánica</i> en Invierno 2016....	108
Ilustración 59 Balance Energético en ausencia de la vegetación en Invierno 2016	108
Ilustración 60 Localización del punto de análisis. Av. Diagonal con Carrer Roger Llúria.	109
Ilustración 61 Especie arbórea <i>Quercus ilex</i>	110
Ilustración 62 Análisis de frondosidad de la <i>Quercus ilex</i> en verano 2015 e invierno 2016	111
Ilustración 63 Captura de imagen fotográfica de la tipología de sombra de la especie <i>Quercus ilex</i> en verano e invierno	112
Ilustración 64 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en verano de la especie arbórea <i>Quercus ilex</i>	114
Ilustración 65 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en invierno de la especie arbórea <i>Quercus ilex</i>	115
Ilustración 66 Balance Energético producido por la <i>Quercus ilex</i> en Verano 2015	116
Ilustración 67 Balance Energético en ausencia de la vegetación verano 2015	116

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 68 Balance Energético producido por la <i>Quercus ilex</i> en Invierno 2016	117
Ilustración 69 Balance Energético en ausencia de la vegetación invierno 2016	117
Ilustración 70 Localización de los puntos de análisis. Carrer de Casp	126
Ilustración 71 Representación y fotografías de los puntos de medición	127
Ilustración 72 Localización de Plaza Catalunya.....	132
Ilustración 73 Plaza Catalunya.....	133
Ilustración 74 Localización del punto de análisis. Mirador Sur.	139
Ilustración 75 Especie arbórea <i>Delonix regia</i> , Parque Mirador Sur.....	140
Ilustración 76 Análisis de frondosidad de la <i>Delonix regia</i> en invierno 2016.....	141
Ilustración 77 Análisis sombra proyectada de la especie <i>Delonix regia</i> en invierno 2015.....	142
Ilustración 78 Mediciones in-situ de los parámetros de confort en invierno de la especie arbórea <i>Delonix regia</i>	144
Ilustración 79 Balance Energético producido por la <i>Delonix regia</i> en Invierno 2015.....	145
Ilustración 80 Balance Energético en ausencia de la vegetación Invierno 2015	145
Ilustración 81 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i>	181
Ilustración 82 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i>	182
Ilustración 83 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea <i>Platanus x hispanica</i>	183
Ilustración 84 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea <i>Platanus x hispanica</i>	184
Ilustración 85 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea <i>Quercus ilex</i>	185
Ilustración 86 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea <i>Quercus ilex</i>	186
Ilustración 87 Representación gráfica de la captura de imágenes fotográficas bajo la copa del árbol	197
Ilustración 88 Representación de los puntos de mediciones de los parámetros ambientales.	198

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Tablas

Tabla 1 Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico.....	29
Tabla 2 Parámetros y factores de confort de la investigación.	29
Tabla 3 Calor metabólico generado por algunas actividades al aire libre.....	33
Tabla 4 Valores de permeabilidad y aislamiento de algunos conjuntos usuales de ropa.....	33
Tabla 5 Interpretación del intercambio de energía de una persona al exterior	35
Tabla 6 Dimensiones de los árboles según el tronco en la ciudad de Barcelona	50
Tabla 7 Clasificación de árboles según su porte en la ciudad de Barcelona	51
Tabla 8 Normativas para la plantación del arbolado según la tipología de calle.	51
Tabla 9 Listado y ubicación de las especies arbóreas estudiadas en esta investigación	55
Tabla 10 Espacio aconsejable para los árboles en el espacio urbano de la ciudad	57
Tabla 11 Listado y ubicación de las especies arbóreas estudiadas en esta investigación	60
Tabla 12 Los árboles de estudios de la ciudad de Santo Domingo.....	60
Tabla 13 Categorías de frondosidad	74
Tabla 14 Categoría por observación de sombra proyectada.	75
Tabla 15 Categorías de sombras proyectadas por la especie arbórea por su frondosidad	75
Tabla 16 Resumen de los casos de estudio.	89
Tabla 17 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i>	91
Tabla 18 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Parkinsonia aculeata</i>	94
Tabla 19 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Platanus x hispánica</i> de Pl. Joan Carles I.....	100
Tabla 20 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Platanus x hispánica</i> de Pl. Joan Carles I.....	104
Tabla 21 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Quercus ilex</i> de Av. Diagonal.	110
Tabla 22 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Quercus ilex</i> de Av. Diagonal.	113
Tabla 23 Resumen del análisis de las especies arbóreas en verano del 2015.....	118
Tabla 24 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación verano del 2015.....	120

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Tabla 25 Resumen del análisis de las especies arbóreas en invierno del 2016.....	121
Tabla 26 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación invierno del 2016.....	122
Tabla 27 Interpretación del Balance Energético de una persona.....	122
Tabla 28 Resumen de las características de las especies arbóreas	128
Tabla 29 Resumen del análisis de las especies arbóreas de Carrer Casp en verano del 2015 ..	129
Tabla 30 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación en Carrer Casp verano del 2015.....	130
Tabla 31 Resumen del análisis de las especies arbóreas de Carrer Casp en invierno del 2016	130
Tabla 32 Resumen de comparación de escenarios con y sin vegetación en Carrer Casp invierno 2016	131
Tabla 33 Resumen de las características de las especies arbóreas <i>Quercus ilex</i> en Plaza Catalunya.....	134
Tabla 34 Comparación de escenarios con y sin vegetación en Pl. Catalunya	135
Tabla 35 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Delonix regia</i> , Parque Mirador Sur	141
Tabla 36 Resumen de las características de la especie arbórea <i>Delonix regia</i> de Mirador Sur	143
Tabla 37 Comparación de escenarios con y sin vegetación del Flamboyán en Santo Domingo	146
Tabla 38 Resumen de las características de las especies arbóreas Flamboyán	146
Tabla 39. Interpretación del intercambio de energía de una persona al exterior.....	173
Tabla 40. Calor metabólico generado por algunas actividades al aire libre.....	174
Tabla 41. Valores de permeabilidad y aislamiento de algunos conjuntos usuales de ropa	177
Tabla 42 Propiedades radiantes de superficies encontradas frecuentemente en los espacios urbanos	179

Anexos

9 Anexos

9.1 Anexo 1. Modelo de cálculo del Balance Energético.

Para la evaluación de los datos recolectados y conocer la aportación de cada especie arbórea en el ámbito urbano, utilizaremos un modelo de evaluación del Balance Energético. En este caso será el modelo de balance energético implementado por el Dr. Ochoa de la Torre en el año 1999 en su tesis doctoral (Ochoa de la Torre 1999).

El Balance Energético se clasifica como un índice analítico.

El Dr. Ochoa (Ochoa de la Torre 2009) utilizó el modelo basado en trabajos de H. Mayer (1987), J. E. Burt (1982), R. D. Brown(1986), T. J. Gillespie (1995) y Ochoa (1999) y P. O. Fanger (1972).

El balance Energético es el intercambio de energía del cuerpo humano con su ambiente inmediato. A través de este modelo se puede estimar el comportamiento de este intercambio de manera que nos permita deducir el confort térmico que siente una persona al exterior (Ilustración 1). Este cálculo se resume en la siguiente fórmula:

$$B = M + R_a \pm C - E - R_e$$

Dónde:

M es el calor metabólico liberado por una persona.

R_a es la radiación solar y de onda larga absorbida

C es el calor sensible perdido o ganado por la convección (C es positivo si se pierde)

E es el calor perdido por evaporación

R_e es la radiación de onda larga emitida

Para el modelo se introducirán parámetros de confort ambientales y de materiales, como factores de confort fisiológicos, cognitivos y arquitectónicos.

Este modelo arroja unos resultados en el W/m^2 , dando como resultado las pérdidas y ganancias que puede tener el cuerpo en un ambiente determinado, y de esta manera conocer el estado de confort térmico del cuerpo. La interpretación de los resultados obtenidos (Ochoa de la Torre 2009) se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 39. Interpretación del intercambio de energía de una persona al exterior

Balance energético	SCE	Interpretación
$250 < B$	-3	Muy caluroso
$150 < B < 250$	-2	Caluroso
$50 < B < 150$	-1	Ligeramente caluroso
$-50 < B < 50$	0	Confort
$-150 < B < -50$	1	Ligeramente frío
$-250 < B < -150$	2	Frío
$B < -250$	3	Muy frío

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano”

Esta interpretación se divide en dos etapas el balance energético (BE) y la sensación de confort al exterior (SCE). Para una mejor comprensión Ochoa ha determinado el Índice de sensación de confort al exterior, con una escala de siete (7) valores que permite determinar los diferentes estados de confort. La Sensación de confort exterior (SCE) (Ochoa de la Torre 2009) es para personas adecuadas a las condiciones del clima templado, las personas más aclimatadas a condiciones más cálidas o frías pueden tener una reacción diferente a la mostrada

Para el desarrollo de esta tesis doctoral se realizaron algunas mejoras en el modelo en la variable de la radiación solar y de onda larga absorbida (R_a). En el capítulo 4 se explicará ampliamente cada variable y sus mejoras

3.1.1 Calor metabólico liberado por una persona (M)

El calor metabólico de una persona es utilizado de dos formas por la respiración (f) por evaporación y por el cuerpo (M_g) a través de la piel por convección, radiación y evaporación. Para evaluar este comportamiento se utiliza la fórmula:

$$M = (1-f) * M_g$$

$$f = 0.150 - (0.0173 * e) - (0.0014 * T_a)$$
$$e = 0.6108 * \exp((17.269 * T_a) / (T_a + 273.3))$$

Donde f es la pérdida por respiración por evaporación (s.u.), M_g es la función de la actividad (Ver tabla2), e es la presión de vapor de saturación del aire (mBar) y T_a es la temperatura del aire (°C)

Tabla 40. Calor metabólico generado por algunas actividades al aire libre

Actividad	M_g (W/m ²)
Durmiendo	50
Descansando	60
Sentado / de pie	90
Trabajando en una mesa o conduciendo	95
De pie, trabajando ligero	120
Caminando lentamente (4km/h)	180
Caminando moderadamente (5.5 km/h)	250
Actividad intensa intermitente	600

Obtenido el metabolismo se conoce que pérdida tenemos por la respiración y a través de la piel debido a la actividad que estamos realizando. La pérdida por la piel (M_g) se tomara más adelante en cuenta para el cálculo.

3.1.2 Radiación térmica recibida por una persona en espacios exteriores (R_a)

Esta radiación térmica es la absorbida por una persona (R_a), que consta de dos variables la radiación solar de onda corta absorbida (K_{abs}) y la radiación de onda larga absorbida por la persona (L_{abs}), donde la ecuación es:

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

$$R_a = K_{abs} + L_{abs}$$

3.1.2.1 Radiación solar de onda corta (K_{abs})(visible)

Es la radiación de onda larga recibida desde el hemisferio del cielo

$$K_{abs} = (T + 1/2 (D + S + R)) * (1-A)$$

Donde T es la radiación solar directa transmitida por el follaje de la vegetación, D es la radiación solar difusa, no reflejada, S es la radiación difusa reflejada por la vegetación y otros objetos en el espacio, R es la radiación reflejada por el suelo y A es el albedo de la persona.

La radiación solar directa transmitida (T) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T = (((K - K_d)/\tan e)/\pi) * t$$

Donde K es la radiación solar global en plano horizontal, K_d es la radiación difusa, e es la altura solar, t es la transmisividad solar de la vegetación u objetos ubicados entre el sol y la persona.

La radiación difusa (D) que recibe la persona (en condiciones de cielo despejado) se estima:

$$D = K_d * Sv_f$$

En este caso de estudio se estima el Sky View Factor (SVF) como una calle infinitamente larga. Se obtiene el Sv_f con la siguiente ecuación:

$$Sv_f = 1 - (Ev_f1 + Ev_f2)$$

Donde Ev_f es el edificio view factor, que es la porción de cielo que cubre el edificio. Para obtener el Ev_f se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ev_f = d/(2 * (\sqrt{d^2 + h^2}))$$

La radiación difusa reflejada (S) por los objetos en el hemisferio celeste sobre la persona, se puede obtener:

$$S = (K_d * (1 - Sv_f)) * A_o$$

La radiación solar reflejada (R) del suelo sobre la persona, se puede obtener:

$$R = K * t * A_s$$

Donde K es la radiación solar global, t es la transmisividad de los objetos que estén entre el sol y el punto que refleje la radiación sobre la persona, A_s es el albedo de los objetos, el albedo para suelos oscuros es de 0.09 (9%) y colores claros limpios 0.9 (90%). (Ver Anexo 2)

3.1.2.2 Radiación solar de onda larga (L_{abs})(no visible)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

La radiación de onda larga absorbida por una persona es valorada como las R_{abs} . Su ecuación es la siguiente:

$$L_{abs} = ((0.5 * (V + F)) + (0.50 * G)) * (1 - A)$$

Donde V es la radiación onda larga recibida de la bóveda celeste, F es la radiación recibida por los objetos ubicados en el horizonte, G es la emitida por la superficie del suelo y A es el albedo de la persona.

La radiación infrarroja recibida de la bóveda celeste (V) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V = L * SVF$$

Donde L es la radiación emitida por el cielo, donde la ecuación para esto es:

$$L = (1.2 * (5.67 * 10^{-8}) * T_a^4) - 171$$

La radiación que emite los objetos del hemisferio del cielo (F), su ecuación es:

$$F = (E_o * (5.67 * 10^{-8}) * T_o^4) * (1 - Svf)$$

Donde T_o es la temperatura de cada objeto.

La radiación emitida por el suelo (G) su ecuación es:

$$G = (EG * (5.67 * 10^{-8}) * T_g^4)$$

La emitancia de la superficie la mayoría de las superficies urbanas, elementos constructivos y vegetación se considera 0.98 (98%)

3.1.3 Calor sensible perdido o ganado por convección (C)

El calor sensible es el flujo de calor del cuerpo perdido por una persona hacia el ambiente a través de la piel, de la ropa y de la capa límite de aire que lo rodea. Este flujo se describe:

$$C = 1200 * (T_c - T_a) / (r_t + r_c + r_a)$$

$$T_c = 36.5 + (0.0043 * M)$$

$$r_t = (-0.1 * Mg) + 65$$

$$r_c = r_{co} * (1 - (0.5 * P^{0.4} * W^{0.5}))$$

$$r_c = r_{co} \text{ cuando } W < 0.7 \text{ m/s}$$

$$r_a = 0.17 / (A * Re^n * Pr^{0.33} * k)$$

Donde T_c es la temperatura corporal ($^{\circ}C$), r_t es la resistencia térmica corporal, r_c es la resistencia de la ropa ($m^2 \text{ }^{\circ}C/W$), r_{co} es el aislamiento de la ropa ($m^2 \text{ }^{\circ}C/W$), P es la permeabilidad al aire de la ropa (s/m), W es la velocidad del viento (m/s), r_a es la resistencia de la capa límite alrededor del cuerpo ($m^2 \text{ }^{\circ}C/W$), Re es el número de Reynolds que es igual a $w*D/v = 11333*W$ (D es el diámetro de la persona, v es la viscosidad cinemática), Pr es el

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

número de Prandtl = 0.71(adimensional), k es la difusividad térmica del aire que es igual a 0.0301 (m²/s) Para obtener los valores de rco y P ver tabla 3.

Tabla 41. Valores de permeabilidad y aislamiento de algunos conjuntos usuales de ropa

Ropa	r _{co} (m ² °C/W)	P (mm/s)
Camiseta, pantalones cortos, calcetines, zapatillas deportivas	50	175
Polo, pantalones largos, calcetines, zapatos o botas	75	150
Polo, pantalones largos, calcetines, zapatos, anorak	100	100
Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, anorak	125	65
Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, suéter	175	125
Camisa m. larga, pantalones largos, calcetines, zapatos, suéter , anorak	200	50

3.1.4 Calor perdido por evaporación (E)

Estas pérdidas son las que se pierden por la piel a través de la evaporación del sudor (E), ya mencionadas en el Metabolismo. Las mismas se pueden dividir en pérdidas sensibles (E_s) e insensibles (E_i). Sus ecuaciones son:

$$E = E_i + E_s$$

$$E_s = 0.42 * (M-58)$$

$$E_i = 1.89 * 10^6 * (q_s - q_a) / (r_{cv} + r_{av} + r_{tv})$$

Donde q_s y q_a son la humedad específica de saturación con T_s y T_a, el subíndice v indica la resistencia al vapor de agua. Usaremos valores para r_{tv} = 7.7*10⁻³, r_{av} = 0.92*ra, r_{cv} = r_c y T_k es la temperatura superficial de la piel (°C). Para las resistencias y la temperatura del aire se utilizaran los mismos valores ya calculados anteriormente. Las ecuaciones son:

$$q = 0.6108 * (\exp((17.269 * T)/(T+237.3)))$$

$$T_k = (((T_c - T_a)/(r_t + r_c + r_a)) * (r_a + r_c)) + T_a$$

Existen situaciones donde la humedad en el aire es mayor, que no permite que el sudor se evapore correctamente, en este caso se utiliza la ecuación de la evaporación máxima (E_m), su ecuación es:

$$E_m = 5.24 * 10^6 * (q_s - q_a) / (r_{cv} + r_{av})$$

En el resultado del cálculo se utilizará el valor más bajo entre E y E_m

3.1.5 Radiación de onda larga emitida (R_e)

La radiación de onda larga emitida se refiere a la radiación que puede emitir una persona. Se puede estimar:

$$R_e = 5.67 * 10^{-8} * (T_s + 273)^4$$

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

$$T_s = (((T_c - T_a)/(r_t + r_c + r_a)) * r_a) + T_a$$

Donde T_s es la temperatura superficial de la personas (°C). Para las resistencias y la temperatura del aire se utilizaran los mismos valores ya calculados anteriormente.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

9.2 Anexo 2. Tablas

Tabla 42 Propiedades radiantes de superficies encontradas frecuentemente en los espacios urbanos

Tipo de superficie	Albedo (%)	Emisividad (%)
Suelos	5-75	90-98
Húmedo oscuro cultivado	5-15	84-91
Húmedo gris	10-20	
Seco arenoso	25-35	
Húmedo arenoso	20-30	
Dunas de arena seca	30-75	
Vegetación	5-30	90-99
Césped	20-30	90-95
Campos verdes	3-15	
Campos de trigo	15-25	
Pradera	10-30	
Chaparral	15-20	
Pastizal	25-30	
Bosque mixto	5-20	
Caducifolias sin hojas	15	97
Caducifolias con hojas	20	98
Coníferas	5-16	97-98
Bosque pantanoso	12	97-99
Agua	5-95	92-97
Altura solar alta	5	92-97
Altura solar baja	95	92-97
Nieve fresca y limpia	70-95	99
Nieve vieja	40-70	82
Superficies urbanas		
Asfalto	5-15	95
Hormigón	10-50	71-90
Ladrillo	20-50	90-92
Piedra	30-35	85-95
Pintura blanca	50-90	85-95
Pintura roja, verde, café	20-35	85-95
Pintura negra	2-15	90-98

Fuente: T. R. Oke, 1987 (Ochoa de la Torre 2009)

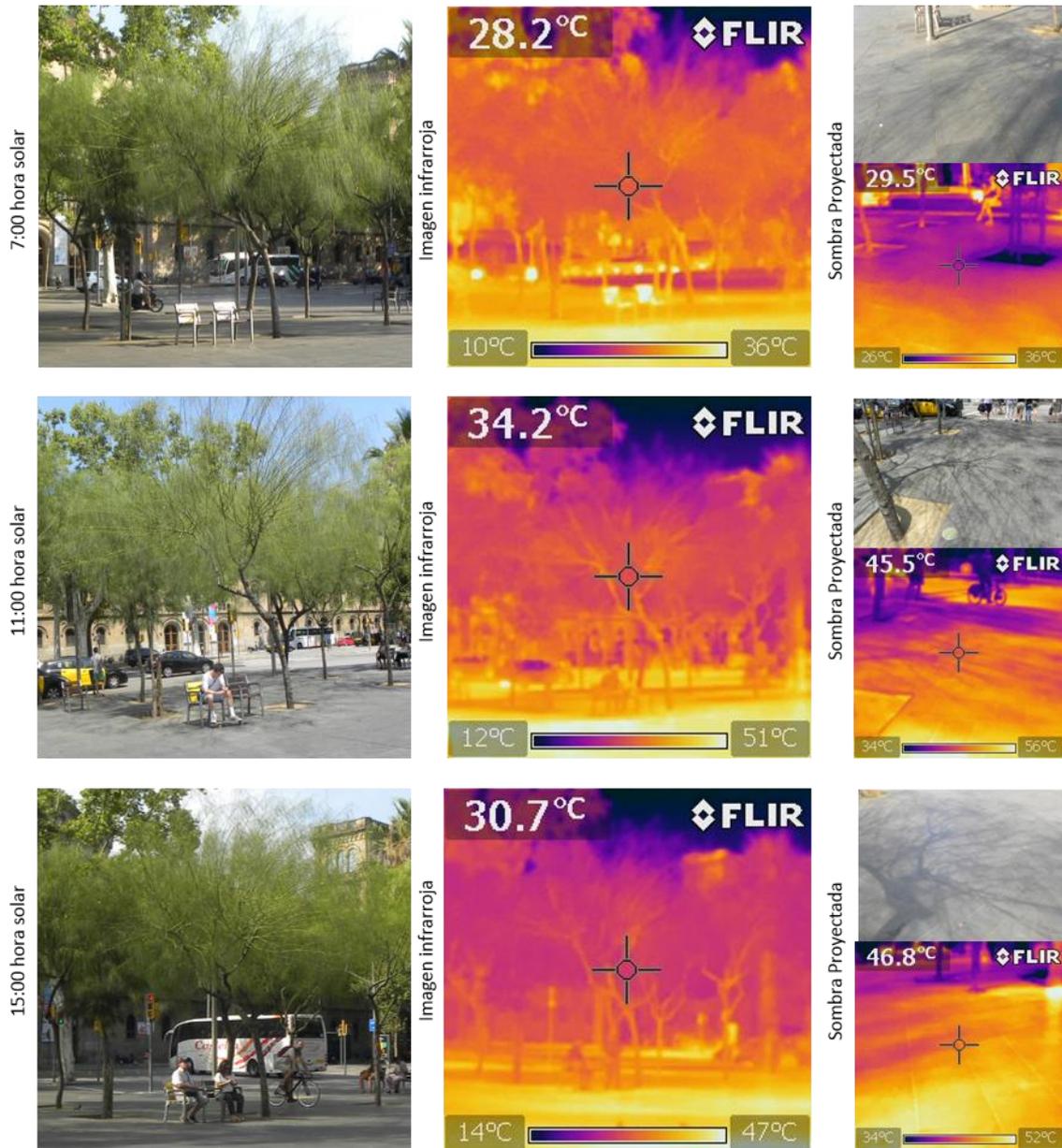
“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

9.3 Anexo 3. Imágenes infrarrojas.

1. *Parkinsonia Aculeata*

Análisis de infrarrojo en verano 2015.

Ilustración 81 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea *Parkinsonia aculeata*.

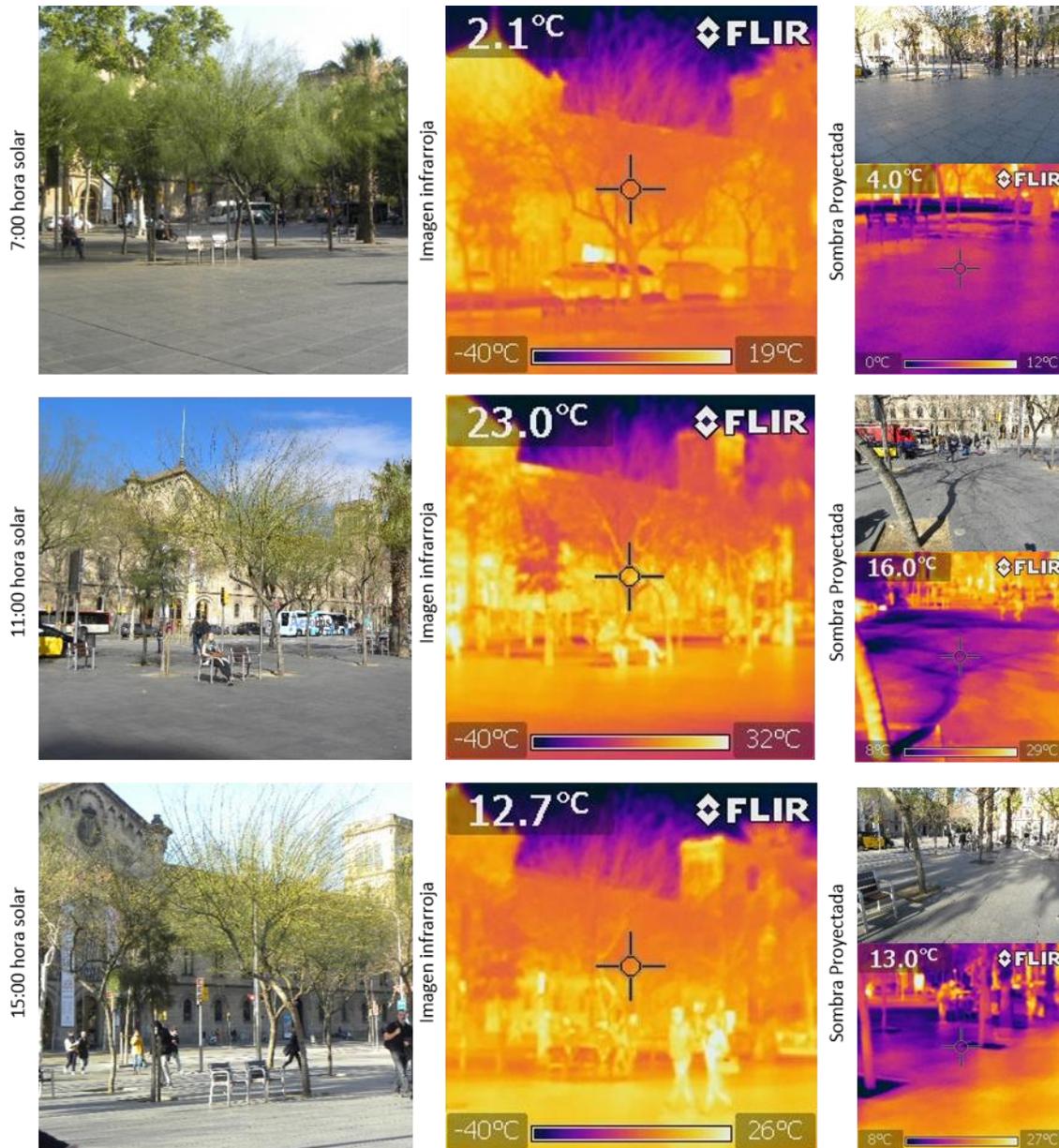


Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Análisis de infrarrojo en invierno 2016

Ilustración 82 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea Parkinsonia aculeata.



Fuente: Elaboración propia.

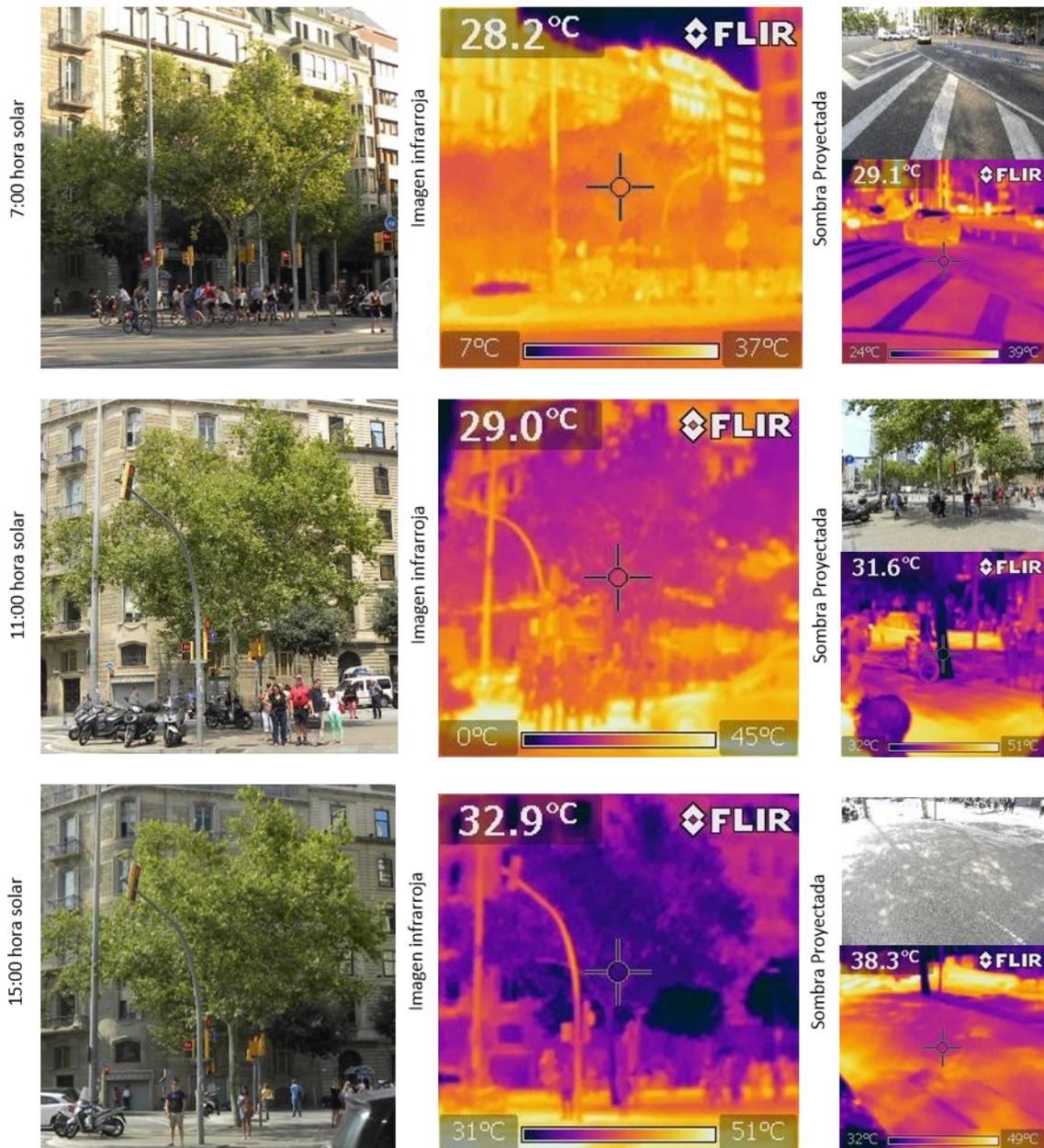
“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

2. *Platanus x hispánica*

Análisis de infrarrojo.

Análisis de infrarrojo en verano 2015

Ilustración 83 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea *Platanus x hispánica*



Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Análisis de infrarrojo en invierno 2016

Ilustración 84 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea *Platanus x hispánica*



Fuente: Elaboración propia.

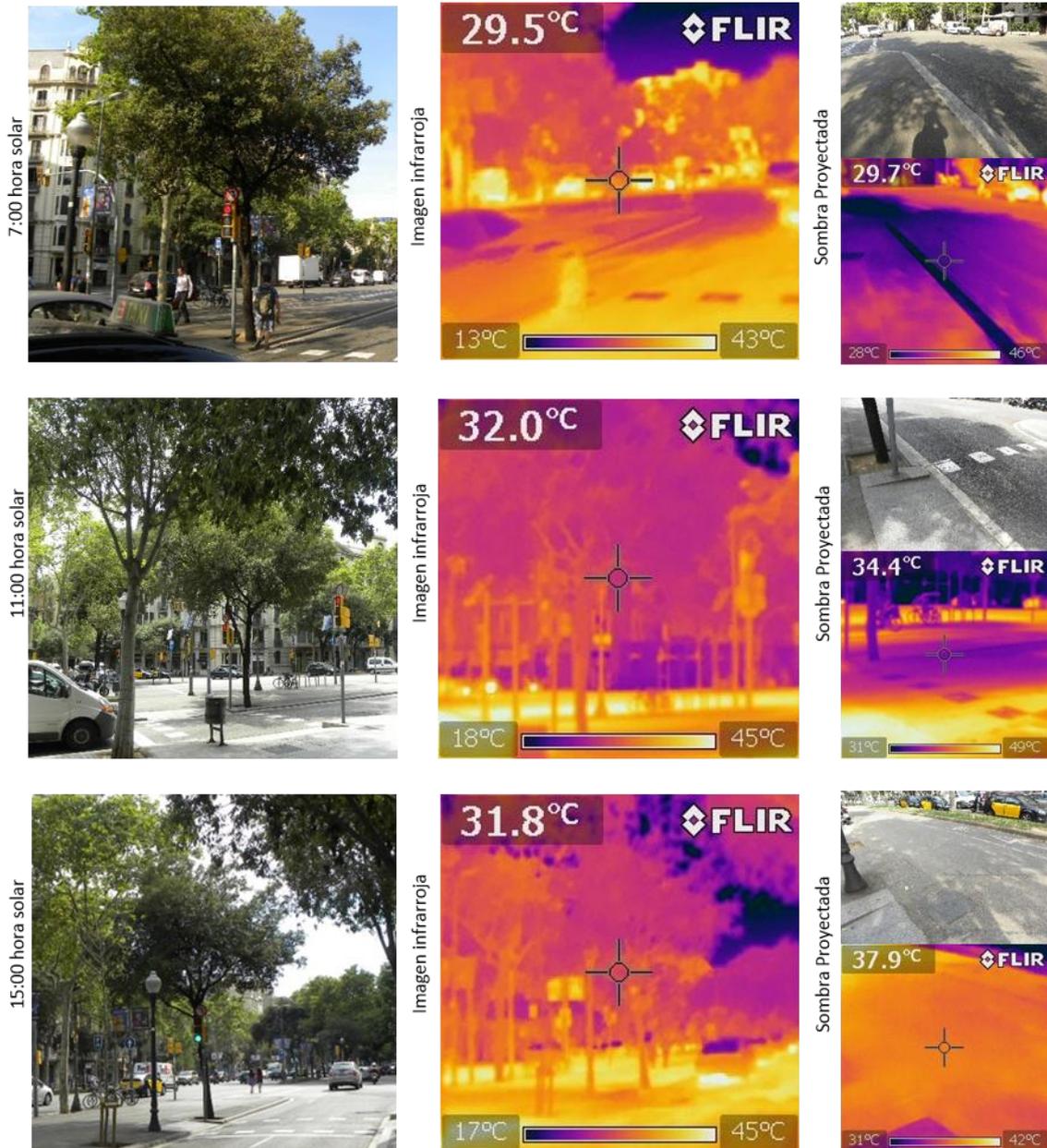
“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

3. Encina

Análisis de infrarrojo.

Análisis de infrarrojo en verano.

Ilustración 85 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea *Quercus ilex*.

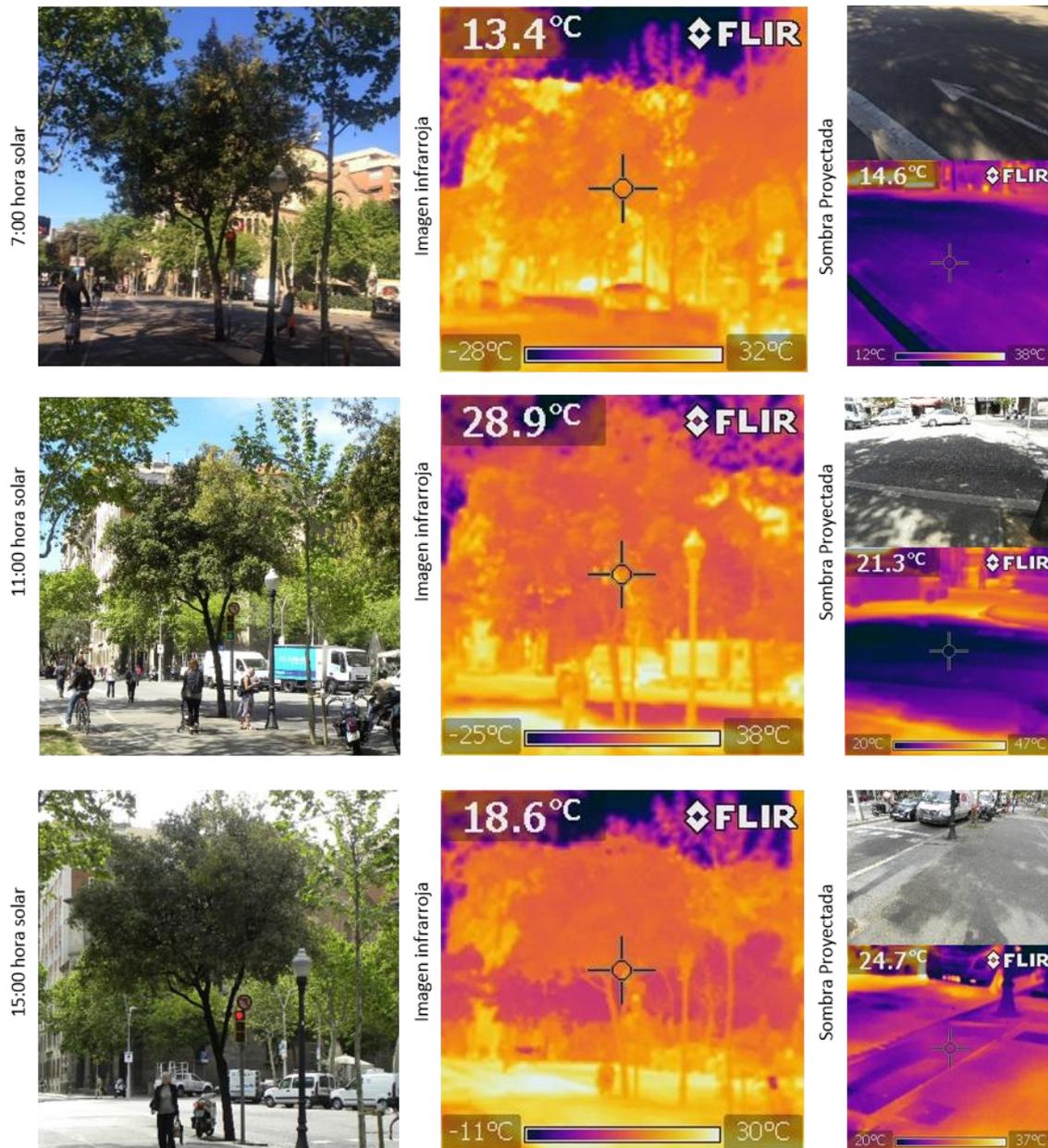


Fuente: Elaboración propia.

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Análisis de infrarrojo en invierno

Ilustración 86 Análisis de infrarrojo del entorno y la sombra de la especie arbórea *Quercus ilex*



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Estas imágenes fueron realizadas nuevamente después de las mediciones debido a la pérdida de datos por un virus informático.

9.4 Anexo 4. Mediciones in situ de las especies arbóreas.

Barcelona, España.

Mediciones In-situ en verano del 2015.

Especie arbórea	<i>Parkinsonia aculeatada</i>			Unidades
Día/mes/año	17/07/2015			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	30	35	29	°C
Humedad Relativa	60	43	63	%
Velocidad del Viento	3	3	2	m/s
R Zona A	73	610	265	W/m ²
R Zona C	379	856	504	W/m ²
Tr Zona A	33	49	44	°C
Tr Zona C	36	56	50	°C

Especie arbórea	Plátano de sombra			Unidades
Día/mes/año	15/07/2015			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	28,9	31,2	32	°C
Humedad Relativa	50,6	39,3	36,4	%
Velocidad del Viento	1,2	2,01	1,37	m/s
R Zona A	85	97,9	137,3	W/m ²
R Zona C	326,2	611	220	W/m ²
Tr Zona A	30	38	41	°C
Tr Zona C	34	46	45	°C

Especie arbórea	Encina			Unidades
Día/mes/año	15/07/2015			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	30	39	32	°C
Humedad Relativa	47	33	37	%
Velocidad del Viento	1	1	1	m/s
R Zona A	75	88	122	W/m ²
R Zona C	326	611	181	W/m ²
Tr Zona A	33	40	41	°C
Tr Zona C	34	47	43	°C

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Mediciones In-situ en invierno del 2016.

Especie arbórea	<i>Parkinsonia aculeatada</i>			Unidades
Día/mes/año	13/02/2016			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	17	22	24	°C
Humedad Relativa	67	47	39	%
Velocidad del Viento	0	2	2	m/s
R Zona A	6	605	105	W/m ²
R Zona C	7	650	409	W/m ²
Tr Zona A	12	24	23	°C
Tr Zona C	13	24	28	°C

Especie arbórea	Plátano de sombra			Unidades
Día/mes/año	16/02/2016			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	11,2	17,9	20	°C
Humedad Relativa	32,9	27,3	24,6	%
Velocidad del Viento	0,04	0,9	1,37	m/s
R Zona A	14,1	94,5	94	W/m ²
R Zona C	189,4	656,3	312	W/m ²
Tr Zona A	6	23	23	°C
Tr Zona C	7	26	26	°C

Especie arbórea	Encina			Unidades
Día/mes/año	09/02/2016			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	18	22	20	°C
Humedad Relativa	33	33	32	%
Velocidad del Viento	1	2	2	m/s
R Zona A	48	66	102	W/m ²
R Zona C	460	837	379	W/m ²
Tr Zona A	16	31	28	°C
Tr Zona C	22	43	33	°C

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Calles

Mediciones In-situ en verano del 2015.

Carrer Casp

Especie arbórea	Almez			Unidades
Día/mes/año	14/07/2015			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	29	31	32	°C
Humedad Relativa	61	57	56	%
Velocidad del Viento	1	2	2	m/s
R Zona A	22	61	26	W/m ²
R Zona C	435	856	496	W/m ²
Tr Zona A	29	34	35	°C
Tr Zona C	33	50	43	°C

Especie arbórea	Plátano de sombra			Unidades
Día/mes/año	14/07/2015			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	29	31	32	°C
Humedad Relativa	61	57	56	%
Velocidad del Viento	1	2	2	m/s
R Zona A	17	48	53	W/m ²
R Zona C	435	856	522	W/m ²
Tr Zona A	29	31	37	°C
Tr Zona C	33	50	43	°C

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Mediciones In-situ en invierno del 2016.

Carrer Casp

Especie arbórea	Almez			Unidades
Día/mes/año	09/02/2016			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	16	20	20	°C
Humedad Relativa	57	44	37	%
Velocidad del Viento	1	2	3	m/s
R Zona A	25	40	43	W/m ²
R Zona C	112	437	104	W/m ²
Tr Zona A	13	20	20	°C
Tr Zona C	14	24	18	°C

Especie arbórea	Plátano de sombra			Unidades
Día/mes/año	09/02/2016			
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	16	20	20	°C
Humedad Relativa	57	44	37	%
Velocidad del Viento	1	2	3	m/s
R Zona A	25	73	50	W/m ²
R Zona C	112	16	104	W/m ²
Tr Zona A	13	17	18	°C
Tr Zona C	14	24	18	°C

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Plazas

Mediciones In-situ en verano del 2015.

Plaza Catalunya

Especie arbórea	<i>Quercus ilex</i>			
Verano 2015				
Día/mes/año	26/06/2015			<i>Unidades</i>
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	28	31	29	°C
Humedad Relativa	39	50	55	%
Velocidad del Viento	2	1	2	m/s
R Zona A	240	61,9	50,1	W/m ²
R Zona C	640	973	497	W/m ²
Tr Zona A	28,1	30,6	30,1	°C
Tr Zona C	36,8	38,2	43,2	°C
Invierno 2016				
Día/mes/año	09/02/2016			<i>Unidades</i>
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	17	28	25	°C
Humedad Relativa	70	34	37	%
Velocidad del Viento	1	2	4	m/s
R Zona A	4,7	35,4	39,9	W/m ²
R Zona C	13	650	409	W/m ²
Tr Zona A	13,1	20,5	23,5	°C
Tr Zona C	14	30,1	28,1	°C

Santo Domingo, República Dominicana.

Mediciones In-situ en invierno del 2015

Especie arbórea	Flamboyán			
Día/mes/año	19/12/2015			<i>Unidades</i>
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Temperatura del aire	26	30	31	°C
Humedad Relativa	65	54	49	%
Velocidad del Viento	2	2	1	m/s
R Zona A	69	104	68	W/m ²
R Zona C	219	684	238	W/m ²
Tr Zona A	27	34	35	°C
Tr Zona C	25	38	40	°C

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

9.5 Anexo 5. Resultados del cálculo de balance energético

Barcelona, España.

Especies arbóreas expuestas

Espece arbórea	Parkinsonia			
Verano 2015				
Día/mes/año	17/07/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	32	160	40	W/m ²
Sin vegetación	80	193	70	W/m ²
Invierno 2016				
Día/mes/año	13/02/2016			
Vegetación	-68	81	130	W/m ²
Sin vegetación	-68	88	174	W/m ²

Espece arbórea	Plátano de sombra			
Verano 2015				
Día/mes/año	15/07/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	-49	-18	9	W/m ²
Sin vegetación	51	62	34	W/m ²
Invierno 2016				
Día/mes/año	16/02/2016			
Vegetación	93	109	74	W/m ²
Sin vegetación	186	179	132	W/m ²

Espece arbórea	Encina			
Verano 2015				
Día/mes/año	15/07/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	-37	48	4	W/m ²
Sin vegetación	59	126	17	W/m ²
Invierno 2016				
Día/mes/año	09/02/2016			
Vegetación	109	61	40	W/m ²
Sin vegetación	246	290	208	W/m ²

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Carrer Casp

Especie arbórea	Almez			
Verano 2015				
Día/mes/año	14/07/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	-52	-14	-13	W/m ²
Sin vegetación	192	218	168	W/m ²
Invierno 2016				
Día/mes/año	09/02/2016			Unidades
Vegetación	60	61	-5	
Sin vegetación	145	172	26	W/m ²

Especie arbórea	Plátano de sombra			
Verano 2015				
Día/mes/año	14/07/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	-12	14	-15	W/m ²
Sin vegetación	179	222	107	W/m ²
Invierno 2016				
Día/mes/año	09/02/2016			Unidades
Vegetación	83	90	-4	
Sin vegetación	-46	33	-44	W/m ²

Plaça Cataluña

Especie arbórea	Encina			
Verano 2015				
Día/mes/año	26/06/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	Confort	Confort	Lig. Frio	W/m ²
Sin vegetación	Caluroso	Lig. Caluroso	Lig. Caluroso	W/m ²
Invierno 2016				
Día/mes/año	09/02/2016			Unidades
Vegetación	Confort	Lig. Calor	Confort	
Sin vegetación	Lig. Caluroso	Muy Caluroso	Caluroso	W/m ²

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Santo Domingo, República Dominicana.

Especies arbóreas expuestas

Especie arbórea	Flamboyán			
Invierno 2016				
Día/mes/año	19/02/2015			Unidades
Hora solar	7:00	11:00	15:00	
Vegetación	-11	22	-4	W/m ²
Sin vegetación	194	170	63	W/m ²

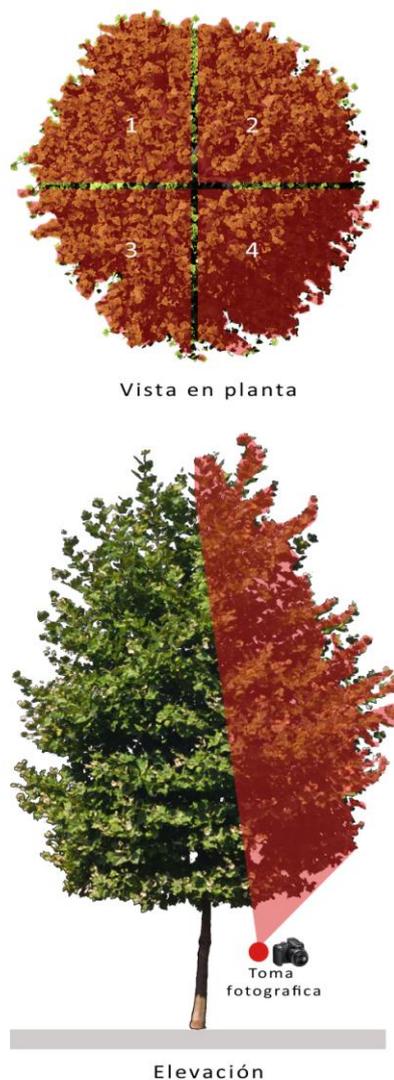
“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

9.6 Anexo 6. Equipo utilizado para la obtención de datos.

Una de la parte más importante del trabajo de investigación es la realización de varias mediciones in situ de diferentes especies arbóreas. Las mediciones se realizaron en espacios urbanos, en tres horas puntuales durante el día, estas horas fueron las 7:00, 11:00 y 15:00 hora solar, tomando como base la hora solar esta medición puede ser comparable en cualquier lugar ya que la altura solar sería la misma.

Las mediciones se realizaron a un metro del suelo. Para las mediciones in situ se dividen en dos procesos: levantamiento fotográfico del árbol (Ilustración 87) y las mediciones de los parámetros ambientales.

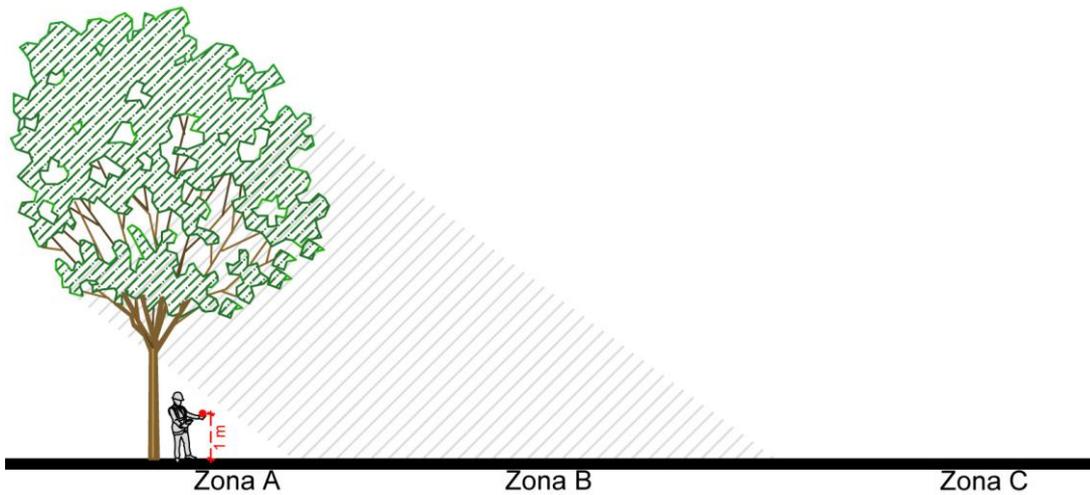
Ilustración 87 Representación gráfica de la captura de imágenes fotográficas bajo la copa del árbol



Fuente: Elaboración propia

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Ilustración 88 Representación de los puntos de mediciones de los parámetros ambientales.



Fuente: Elaboración propia

Los instrumentos utilizados fueron:

Levantamiento fotográfico del árbol

Cámara

- Nikon P90

Para la medición in situ de los parámetros ambientales

Temperatura del aire y humedad relativa

- Una sonda Testo 175H1 (SN: 40308451)

Velocidad y dirección del viento

- Un termo anemómetro AZ8903

Medición de la radiación solar en plano horizontal

- Un Piranómetro modelo

Temperatura radiante del suelo

- Dos pistola infrarroja
- Cámara termo gráfica infrarroja

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Nikon P90



Características del instrumento

Objetivo	Toma de imágenes fotográfica
Píxeles efectivos	12.1 millones
Tamaño del sensor	1/2.33 Pulgadas
Medidor de almacenamiento	Tarjeta de memoria SD
Velocidad máxima por disparo	Hasta 25 disparos aproximadamente 1.4 cuadros por segundo
Dimensiones	114 mm x 88 mm x 99 mm (Ancho x altura x profundidad)
Peso	400 g aproximadamente

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Sonda de temperatura y humedad TESTO 175 H1



Características del instrumento

Objetivo	Medidor de la temperatura del aire (°C) (°F) y la humedad relativa (%) de forma continua, según la programación realizada.
Tipo de sensor	Sensor de temperatura NTC y sensor de humedad capacitivo
Número de canales de medición	Dos internos
Intervalo de medición	Cada 5 minutos durante 24 horas
Capacidad de almacenamiento	1000000 de valores medidos

Características técnicas del instrumento

Rangos de medición	Temperatura de -20 °C a 55 °C Humedad relativa: menor de 80%
Precisión	Temperatura: +/- 0.4°C (con temperaturas entre -20°C y 55°C) +/- 1 dígito Humedad relativa: +/- 2.0% (con humedades relativas entre el 2% y 98%, a una temperatura de 25°C)
Resolución	Temperatura del aire: 0.1°C Humedad relativa: 0.1%

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
 producida por el arbolado urbano”

Termo anemómetro AZ8903



Características del instrumento

Objetivo	Medidor de la temperatura del aire y la velocidad del viento
Tipo de sensor	
Número de canales de medición	Dos internos
Intervalo de medición	
Capacidad de almacenamiento	

Características técnicas del instrumento

Rangos de medición	Velocidad del viento: 0.4 30 m/s Temperatura del aire : -10 50°C
Precisión	Velocidad del viento: ± 3% Temperatura del aire : ± 1°C
Resolución	Velocidad del viento: 0.01 m/s Temperatura del aire : 0.1 °C

"Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano"

Piranómetro Tes 1333



Características del instrumento

Objetivo	Medidor de la energía solar
Tipo de sensor	Medidor de radiación
Número de canales de medición	1
Intervalo de medición	4 veces / seg
Capacidad de almacenamiento	43000 conjuntos

Características técnicas del instrumento

Rangos de medición	
Precisión	Coseno corregido <5% para ángulos de <60°
Resolución	1W / m ² 1Btu / (m ² * h)

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
 producida por el arbolado urbano”

Fluke 561 Infrared and contact Thermometer



Características del instrumento

Objetivo	Medidor de temperatura radiante superficial
Tipo de sensor	Mira Láser
Número de canales de medición	1
Intervalo de medición	500 ms (95% de la lectura)

Características técnicas del instrumento

Rangos de medición	-40 A 550 ° C (-40 a 1022 ° F)
Precisión de visualización	± 1,0% de la lectura ± 1% de lectura o ± 1 ° C (± 2 ° F), lo que sea mayor por debajo de 0 ° C / 32 ° C, ± 1 ° C (± 2 ° F) ± 0,1 ° / 1 °
Resolución	0.1 ° C (0.1 ° F) of reading

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
 producida por el arbolado urbano”

Cámara termo gráfica Flir i7



Características del instrumento

Objetivo	Medidor de imágenes térmicas
Tipo de sensor	Térmico
Número de canales de medición	1
Capacidad de almacenamiento	Varia según la tarjeta de memoria introducida

Características técnicas del instrumento

Rangos de medición	Mide temperaturas hasta de +250°C y detecta diferencias de temperatura de tan solo 0,10°C.
Precisión	±2°C o ±2%
Campo Visual	29° (H) x 29° (V)
Sensibilidad Térmica	0.10°C

Sonda de temperatura y humedad Velleman DVM8010



Características del instrumento

Objetivo	Medidor de la temperatura del aire (°C) (°F) y la humedad relativa (%) de forma continua, según la programación realizada.
Tipo de sensor	2
Número de canales de medición	2 internos
Intervalo de medición	1x /s

Características técnicas del instrumento

Rangos de medición	-10~+50°C, +14~+122°F, 0~100%RH
Precisión	±1.0°C, ±1.8°F, ±3%RH (5~95%RH)
Resolución	0.1°C, 0.1°F, 0.1%RH

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

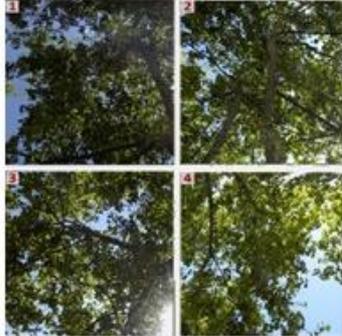
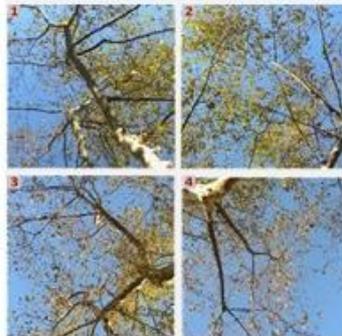
9.7 Anexo 7. Ficha técnica de las especies arbóreas

FICHA TÉCNICA

Especie arbórea	Fotografía de la especie arbórea
Ubicación	
Dimensiones de la especie arbórea	
Características estructurales	Fotografía de frondosidad de la copa del árbol
Características morfológicas	
Frondosidad	
Confort térmico	Fotografía de la sombra proyectada del árbol
Verano	
Confort 7:00 Confort 11:00 Confort 15:00 Hora solar	
Invierno	
Confort 7:00 Confort 11:00 Confort 15:00 Hora solar	
Factible en espacios urbanos	

Ejemplo de ficha técnica a ser desarrollada más adelante en publicaciones científicas.

FICHA TÉCNICA

Especie arbórea			
<i>Platanus x hispánica</i>	<i>Plátan Carrer</i>	<i>Plátano de sombra</i>	
Científico	Catalán	Castellano	
Ubicación			
<i>Barcelona Dreta d'Eixample</i>			
Ciudad	Distrito		
<i>Av. Diagonal, Pl. de Joan Carles I</i>			
Lugar			
Dimensiones de la especie arbórea			
<i>14.00 m</i>	<i>8.45 m</i>	<i>415 m³</i>	<i>97 cm</i>
Altura	Diámetro	Volumen	Tronco
			Características estructurales
			<i>Esférica/Ovoidal</i>
			Forma
			Expandido
			Ramaje
			Media
			Densidad de ramaje
Características morfológicas			
			<i>Alternas, compuestas palmadas / caducifolia</i>
			Tipo de hoja
			<i>Verde claro medio</i>
			Color
			<i>Lisa</i>
			Textura
			<i>G (15-25)</i>
			Tamaño (cm)
Verano 2015			Frondosidad
			Verano
			<i>0.78</i>
			Frondosidad
			<i>Media densa</i>
			Sombra proyectada
			<i>22%</i>
			Protección
			Invierno
			<i>0.35</i>
			Frondosidad
			<i>Media</i>
			Sombra proyectada
			<i>65%</i>
			Protección
Invierno 2016			
Confort térmico			
Verano			
<i>Confortable</i>	<i>Confortable</i>	<i>Confortable</i>	Verano 2015
7:00	11:00	15:00	Invierno 2016
Invierno			
<i>Lig. caluroso</i>	<i>Lig. caluroso</i>	<i>Lig. caluroso</i>	
7:00	11:00	15:00	
Factibilidad en espacios urbanos			
<i>Su uso se recomienda para calles, parques y plazas</i>			

9.8 Anexo 8. Publicaciones realizadas

Presentación en congresos

Título: “Propedeutic Course for a Master on Technology in Architecture”.

Autores: Jaime Roset · Gilkauris María Rojas Cortorreal · Adam Rybka

Congreso: Jornadas de Innovación Docente en Arquitectura _ JIDA´15

Conference:

Lugar y fecha de celebración: 25 de Mayo del 2015, Barcelona, España.

ISBN:

Título: Propedeutic: Architects Proficient in Building Related Calculations

Autores: Jaime Roset · Gilkauris María Rojas Cortorreal · Adam Rybka · Judit Taberna

Congreso: Proceedings of the 3rd International Conference Ecological Architecture 2015

Conference:

Lugar y fecha de celebración: 22 de Octubre del 2015, Kaunas, Lithuania.

ISBN:

Título: “Evaluation of vegetation in urban space”. Barcelona base model and proposed to Dominican Republic.

Autores: Rojas-Cortorreal, G. ; Roset, J.; Navés, Francesc; Vidmar, Jernej y López-Ordóñez, Carlos

Congreso: EM-SBE16. Europe and the Mediterranean Towards a Sustainable Built Environment conference 2016.

Conference: Sustainable Development and Spatial Planning

Lugar y fecha de celebración: 16 al 18 de Marzo del 2016, La Valeta, Malta.

ISBN: 978-99957-0-935-8

Título: Curso Propedéutico No Presencial Para Arquitectura: Diseño, Implementación Y Evaluación

Autores: Jaime Roset, Gilkauris Rojas y Rosana Castañón y Judit Taberna

Congreso: XIII Foro Internacional sobre la Evaluación de la Calidad de la Investigación y de la Educación Superior (FECIES)

Conference:

Lugar y fecha de celebración: 30 de Junio al 2 de Julio del 2016, Granada, España

ISBN:

Artículos publicados

Título: La Vegetación en el Confort Micro Climático. Comparación de Especies Del Clima Mediterráneo de Barcelona, España

Autores: Gilkauris María Rojas Cortorreal · Jaime Roset · Francesc Navés

Revista: Revista Arquitectura, Ciudad y Entorno, Sigla ACE

Índice de impacto: 1

Lugar: Año 11, Núm. 29 (Oct 2015)

ISSN: 1886-4805; 1887-7052

“Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales
producida por el arbolado urbano”

Título: El Efecto Del Confort Térmico Producido por la Especie Arbórea *Celtis Australis* (Almez) en el Espacio Público.

Autores: Rojas-Cortorreal, Gilkauris; Roset Calzada, Jaume; Navés Viñas, Francesc; López Ordóñez, Carlos y Crespo, Isabel.

Revista: Revista Arquitectura, Ciudad y Entorno, Sigla ACE

Índice de impacto: 1

Lugar: Este artículo actualmente está en revisión por la comisión editorial de la revista ACE (Arquitectura Ciudad y Entorno 2013)

ISSN: 1886-4805; 1887-7052

Título: “Análisis de la Radiación Solar Directa en las Calles de Barcelona” En Base a la Relación entre su Morfología y Vegetación.

Autores: López Ordóñez, Carlos; Roset Calzada, Jaume; Gilkauris Rojas-Cortorreal (En análisis)

Revista: Revista Arquitectura, Ciudad y Entorno, Sigla ACE

Índice de impacto: 1

Lugar: Este artículo actualmente está en revisión por la comisión editorial de la revista ACE (Arquitectura Ciudad y Entorno 2013)

ISSN: 1886-4805; 1887-7052

Poster presentados

Título: Contributions to micro climate comfort of tree species *Platanus x hispanica*

Autores: Gilkauris María Rojas Cortorreal · Jaime Roset · Francesc Navés

Congreso: Jornadas de Investigadores Pre doctorales Interdisciplinarias _ JIPI'16

Conference:

Lugar y fecha de celebración: 2 de Febrero del 2016, Barcelona, España

ISBN:

Tesis de máster

Título: "The tropical vegetation in the urban climate comfort" Applied to Santo Domingo, Dominican Republic compared to the Mediterranean climate, Barcelona, Spain.

Autores: Gilkauris María Rojas Cortorreal

Tutores: Jaime Roset · Francesc Navés

Atenciónj

Las páginas 211 a 280 de la tesis, que contienen las publicaciones citadas en el anexo 8, deben consultarse a través de las páginas web de los editores de las mismas, por razones de propiedad intelectual.