

La influencia de la vegetación arbórea urbana para disminuir el nivel de polución y alcanzar el confort climático

The influence of urban trees to reduce the level of pollution and achieve climate comfort

Vanessa Guillén-Mena¹ and Diana Orellana¹

¹ Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca, vanessa.guillen@ucuenca.edu.ec, diana.orellana@ucuenca.edu.ec

Recibido: 15-01-2016. Aceptado: 26-07-2016.

Resumen. El artículo expone la relación e importancia de la vegetación arbórea urbana para alcanzar el confort en espacios exteriores y mitigar los impactos de la isla de calor y polución. Se consultan los informes anuales de monitoreo gestionados por la Empresa Municipal de Movilidad y Transporte desde 2008 hasta 2014 para determinar los niveles de contaminación de Cuenca. Se usan los informes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11) para diagnosticar las condiciones climáticas de la ciudad y establecer el rango de confort térmico. Finalmente, se hace una simulación en ECOTECH de la radiación solar en un Parque de la ciudad y se comprueba como la sombra de la vegetación ayuda a alcanzar los niveles de confort durante las horas de mayor incidencia solar.

Palabras claves. isla de calor, vegetación urbana, confort climático, espacio público.

Abstract. The article discusses the relationship and importance of urban trees to achieve comfort in outdoor spaces and mitigate the impacts of urban pollution and heat island. To determinate the pollution levels in Cuenca is consulted the annual monitoring reports by the Municipal Mobility and Transport from 2008 to 2014. The National Institute of Meteorology and Hydrology reports and Reporting Standard Construction (NEC - 11) to diagnose the climatic conditions of the city and set the range of thermal comfort are used. Finally, a simulation ECOTECH of solar radiation in a city park is made and checked as the shadow of the vegetation helps achieve comfort levels during the hours of highest solar incidence

Keywords. heat island, urban vegetation, outdoor thermal comfort, public space.

1. Introducción

La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, sino que además modifica las condiciones climáticas y ambientales. El asfalto, los edificios y el trazado de la red viaria modifican los balances de radiación entre el suelo y el aire, reducen la evaporación, aumentan la escorrentía superficial y disminuyen la velocidad del viento [1].

La temperatura del centro urbano tiende a ser más cálida que la periferia, esa modificación de condiciones climáticas se conoce como *isla de calor urbana* (en adelante ICU). Este problema tiene su origen en diversos factores, como son, la morfología de las ciudades, los materiales utilizados en los desarrollos urbanos y otros factores antropogénicos [2].

La morfología influye directamente en el proceso de enfriamiento del área urbana, mientras más denso sea el tejido urbano, más difícil se vuelve perder el calor acumulado durante el día [3]. El amplio uso de materiales artificiales como el concreto y el asfalto son una de las principales causas del aumento de temperatura en las áreas urbanas, debido a su alto nivel de absorción de calor [2]. Entre los factores antropogénicos están el calor producido por la combustión vehicular, de industrias y la demanda de otro tipo de recursos [4].

Entre los efectos negativos de la ICU están: el aumento del consumo de energía para climatizar artificialmente, mayor concentración de emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero asociado con lo anterior, y el aumento de muertes relacionadas con las olas de calor [5].

La temperatura media anual de ciudades con un millón o más de habitantes puede ser entre 1 a 3°C más alta que sus alrededores [4]. Sin embargo, también en pequeñas ciudades existe la isla de calor, y la diferencia de temperatura disminuye si la población y superficie urbana también disminuyen [6].

Las altas temperaturas y la contaminación ambiental están íntimamente relacionadas, por ejemplo la reacción química entre óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la radiación solar, dan origen al ozono troposférico (O₃), uno de los gases más contaminantes y nocivos a la salud. Por lo tanto para reducir la producción de O₃ es indispensable reducir las emisiones de COV, dióxido de nitrógeno (NO₂) y la incidencia de radiación solar [7].

El aumento de las temperaturas y los niveles más altos de contaminación del aire asociados con las islas de calor urbanas pueden afectar a la salud humana, contribuyendo al malestar general, dificultades respiratorias, calambres por calor y agotamiento y la mortalidad relacionada con el calor [5].

Debido a la radiación solar, las superficies del suelo pueden alcanzar temperaturas perjudiciales para quienes transiten por ellas, aumentando la incomodidad en las personas y limitando el uso de un espacio público. Estudios realizados en espacios exteriores en ciudades de diferentes países, determinan que las personas tienden a permanecer más tiempo cuando su percepción de las condiciones térmicas están dentro de la zona de confort aceptable, que cuando su percepción está fuera de ella [8].

La hipótesis del presente estudio busca demostrar que la incorporación de la vegetación arbórea y el aprovechamiento adecuado de las variables climáticas en espacios públicos urbanos, podrían reducir el nivel de contaminación en el aire y mejorar el confort térmico de sus usuarios.

2. Metodología

Para definir el nivel de influencia de la vegetación en el confort climático en espacios públicos se simula mediante el software ECOTECH la incidencia de radiación

solar sobre la superficie de interés (Parque de la Madre), y se obtiene como datos el valor promedio diario en un horario de 8:00 a 18:00 horas en kW.h/m² día. Como segundo análisis se considera la zona de descanso en tres horarios distintos (8h00 a 9h00; 10h00 a 11h00; 12h00 a 13h00), que evidencia el incremento de radiación solar durante el día; obteniendo como resultado la radiación solar incidente en kW.h/m² durante una hora en condiciones de sombra y expuesta al sol.

Para dicha simulación se utiliza un fichero climático de un año tipo de la ciudad. En cuanto a la vegetación se usa árboles densos y semi-densos con alturas promedio de 4 metros.

Para definir el nivel de influencia de la vegetación en la disminución de polución en espacios públicos se utilizan fuentes secundarias, principalmente estudios internacionales que demuestran la efectividad de la vegetación arbórea para mitigar el nivel de polución en el aire. Para conocer la calidad del aire en Cuenca se analizan los promedios anuales de emisiones gestionados por la Empresa Municipal de Movilidad y Transporte desde 2008 hasta 2014. En este caso los resultados están condicionados a la ubicación de las estaciones de monitoreo que permiten una visión general del nivel de polución en la ciudad.

3. Los beneficios de la vegetación arbórea en el espacio público para mitigar los impactos de la ICU y la polución

Un estudio de 26 ciudades estadounidenses muestra que las estrategias más comunes para mitigar la ICU son implementar techos reflectivos, techos verdes, pavimento poroso o hueco, sombra producida por los árboles y en general el incremento de la vegetación en áreas urbanas [5]. Sin embargo, en zonas públicas como calles y plazas son los árboles los que mejores resultados se obtienen en cuanto a la disminución de temperaturas [9].

Los árboles ayudan a reducir la temperatura creando sombra y eliminando humedad hacia el ambiente durante el proceso de fotosíntesis. En el primer caso, las ramas y hojas de los árboles interfieren en la radiación solar manteniendo la sombra debajo de sus copas. Depende de la especie pero, generalmente, solo entre el 10 al 30 % de radiación solar llega debajo del árbol, la gran mayoría de energía es utilizada por las hojas para el proceso de fotosíntesis y otro porcentaje se refleja hacia la atmósfera.

Factores climáticos como la lluvia y la radiación solar sobre la vegetación arbórea también provocan la denominada evapotranspiración, que consiste en eliminar agua contenida o almacenada hacia el ambiente, regulando la temperatura del aire.

Un estudio de dos viviendas demuestra que la sombra provocada por árboles a sus alrededores reduce las temperaturas de paredes y techos entre 11 y 20°C [10]. Otro estudio demuestra que la sombra de los árboles reduce temperaturas dentro de los vehículos estacionados hasta en un 25°C y en el aire exterior entre 1 y 2°C [11]. La diferencia térmica entre una calle con y sin arbolado puede ser de 2 a 4 °C [12].

Los árboles también ayudan a disminuir las concentraciones de gases contaminantes en el ambiente, por ejemplo el CO₂ se reduce a través de dos procesos, uno directo como la fotosíntesis en la que es capturado y transformado gracias al agua y a la radiación solar en celulosa y otros componentes útiles. Y otro indirecto, cuando la vegetación arbórea ayuda a regular la temperatura y con ello disminuir el uso de aire acondicionado, traducido a menor consumo energético y a su vez menor emisión de gases de efecto invernadero [13].

Los árboles pueden también interceptar material particulado (PM) y absorberlo dentro de sus tejidos, otras partículas en cambio se adhieren en su superficie cuando están suspendidas en la atmósfera y son llevados por el viento o la lluvia hacia el suelo. A través de este proceso se puede reducir varios contaminantes como: NO_x, PM, dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y O₃ a nivel de suelo [13].

Un estudio en Nueva York demuestra que el incremento de árboles en espacios urbanos públicos en un 10 % causó la disminución del 3 % de O₃ a nivel de suelo

[14]. Es más, un estudio en los suburbios de Estados Unidos estima que los árboles urbanos remueven anualmente la suma de 784.000 toneladas de NO_x, PM₁₀, SO₂ y CO; y aunque los cambios en la calidad del aire local mejoraron en un 1%, se destaca que los beneficios adicionales se pueden obtener si se incluyera también los impactos positivos en cuanto a la reducción de la temperatura y la disminución de consumo energético [15].

Los árboles son más útiles como estrategia de mitigación cuando se plantan en lugares estratégicos alrededor de los edificios, y la orientación es fundamental según el tipo de clima; por ejemplo, en sitios cálidos es preferible ubicarlos hacia el este de las edificaciones. También es importante considerar que cada especie de árbol tiene un comportamiento diferente y que para cada condición climática es necesario un estudio previo para escoger la especie óptima [4].

La sombra generada por la vegetación alta no solo protege a las personas sino también al pavimento, por lo que resulta imprescindible el empleo de acabados claros que se calienten lo mínimo [16]. Los árboles con un tronco alto y una copa ancha son las plantas más eficaces en la prestación de sombra utilizable. El efecto de cada uno de estos elementos depende de la densidad del follaje, sus dimensiones y estructura, si el árbol es denso bloqueará mejor el viento. En Ecuador, por su latitud la mayor radiación solar se presenta al mediodía, siendo importante la sombra en espacios públicos de tránsito y estancia como bancas, áreas de juegos y a lo largo de las vías.

4. Dos problemas urbanos que influyen directamente en la salud de los habitantes de la ciudad de Cuenca: el aumento de radiación y la contaminación del aire

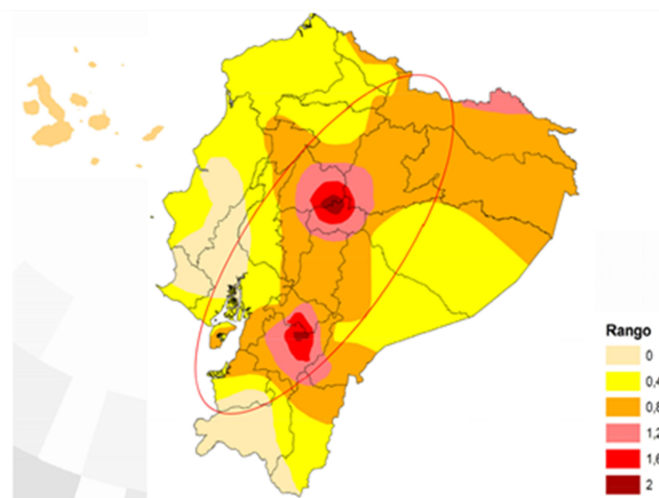


Figura 1. Datos históricos 1960 - 2006: variación de la temperatura a nivel nacional. Fuente: INHAMI, 2006.

Según la evaluación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de un total de 39 estaciones con datos desde 1960 a 2006, se muestra que las temperaturas media, máxima y mínima anuales han incrementado. Específicamente, la temperatura media incrementa un promedio de 0.8 °C, la temperatura máxima absoluta 1.4 °C y la mínima absoluta 1 °C [17]. En la Figura 1 se puede identificar en color rojos dos zonas de mayor incremento (2°C): Cuenca y el punto medio entre Ambato y Latacunga.

En Cuenca la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte monitorea a través de 19 estaciones los gases de efecto invernadero y revela que el tráfico vehicular es el responsable del 92% de las emisiones de CO, del 76% de NO₂, del 34% de COV diferentes del metano, del 30% de SO₂, del 42% de MP₁₀ y MP_{2,5} [18]. Analizando

los resultados del monitoreo entre los años 2008 a 2014 y comparándolos con la guía establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se destaca lo siguiente:

- El promedio anual de emisiones de SO₂, NO₂, CO₂ y O₃ no llega a superar lo establecido por la guía de la OMS; sin embargo, el PM inferior a 10 y 2,5 micras duplica lo señalado.
- Existe una relación indirectamente proporcional entre el aumento de polución en el ambiente con las precipitaciones.

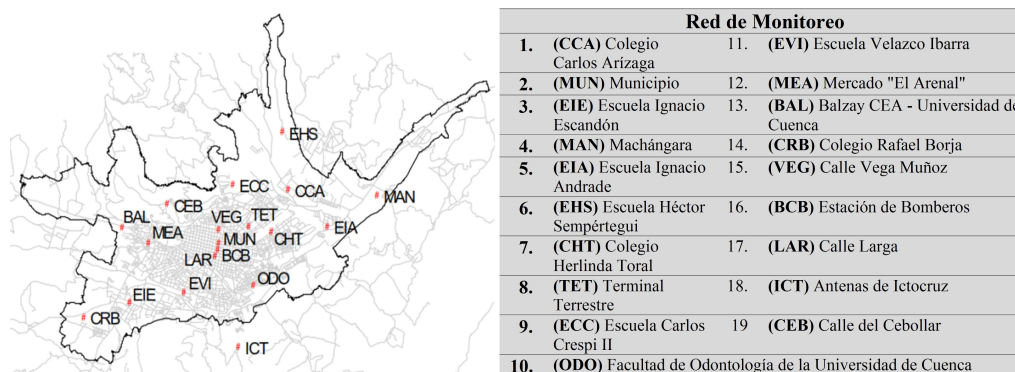


Figura 2. Ubicación de las estaciones de monitoreo. Fuente: Informes de Calidad de Aire 2013. Elaboración: Propia.

Existe por lo tanto riesgo de enfermedades debido a los altos niveles de PM fino, éste no es visible y puede transportarse largas distancias e ingresar fácilmente al organismo mediante la respiración. El MP₁₀ puede ingresar hasta las vías respiratorias bajas, y el MP_{2,5} puede penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón; además, el MP_{2,5} es un contaminante cancerígeno [19]. Las concentraciones medias anuales de MP_{2,5} en un rango de 15 a 30 ug/m₃ muestran un 6% más de probabilidades de mortalidad y en concentraciones de MP₁₀ entre 30 a 50 ug/m₃ existe un 12% más de probabilidades de mortalidad .

Tabla 1. Promedio anual de emisiones de MP₁₀ y MP_{2,5} por año y estación de monitoreo^a.

Contaminante	Estaciones	Emisiones (ug/m ³) por años						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀)	CCA	49	49.8	50.8	39.5	40.8	36.8	33.9
	MUN	35	35	39.1	29.6	34	33.8	25.4
	EIE	42	40.7	48.2	32.2	33.5	26.5	35.4
Guía OMS		20						
Material particulado menor a 2.5 micras (PM _{2,5}) ^b	CCA	24.5	24.9	25.4	19.75	20.4	18.4	16.95
	MUN	17.5	17.5	19.55	14.8	17	16.9	12.7
	EIE	21	20.35	21.1	16.1	16.75	13.25	17.7
Guía OMS		10						

^a Fuente: Informes de Calidad de Aire 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013. Elaboración: Propia, ^b Los datos de MP_{2,5} son calculados en función de la relación establecida por la OMS en 2006 para los países en vías de desarrollo, donde MP_{2,5}/MP₁₀=0,5.

Un estudio realizado por Elvira Palacios y Claudia Espinoza muestra la relación del aumento del MP₁₀ con el aumento de mortalidad. “El número de fallecimientos en el año 2012 en la ciudad de Cuenca por enfermedades cardiopulmonares y cáncer de pulmón fue de 101, por lo tanto, de acuerdo a la guía de la OMS, tomando los reportes no ajustados por tiempo ni exposición, el número de muertes atribuibles a la presencia de PM10 sería en promedio entre 3 a 9” [20].

5. Análisis de confort e incidencia solar en un Parque de la ciudad de Cuenca

Se analiza el Parque de la Madre por ser este un espacio verde representativo, por su ubicación céntrica y por la heterogeneidad de su entorno, rodeado al sur, este y oeste con edificaciones de variada altura (entre 1 y 12 pisos) y al norte por el río Tomebamba. Su contexto urbano crea unas condiciones climáticas variadas que nos permiten hacer comparaciones.

La temperatura media anual de Cuenca es de 16.3 °C, la mínima bordea los 9°C y la máxima los 23 °C, generándose una amplitud térmica diaria alta, entre 9 y 14 °C. El promedio de humedad es de 65% y se mantiene dentro de las condiciones aceptables de confort. La radiación solar se encuentra entre 3.92 y 5.06 kW.h/m² [21]. Estas condiciones climáticas conducen a que deba aplicarse criterios de confort opuestos en un solo día; por ejemplo, en la mañana es necesaria la exposición directa al sol y al medio día es necesario sombra.

En base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11), la zona de confort se encuentra en un amplio rango de 18 a 26 °C, pero Cuenca, específicamente, le corresponde la zona 3 con rango de confort entre 18.3 y 23.9 °C, tal como se aprecia en la Figura 3 [22].

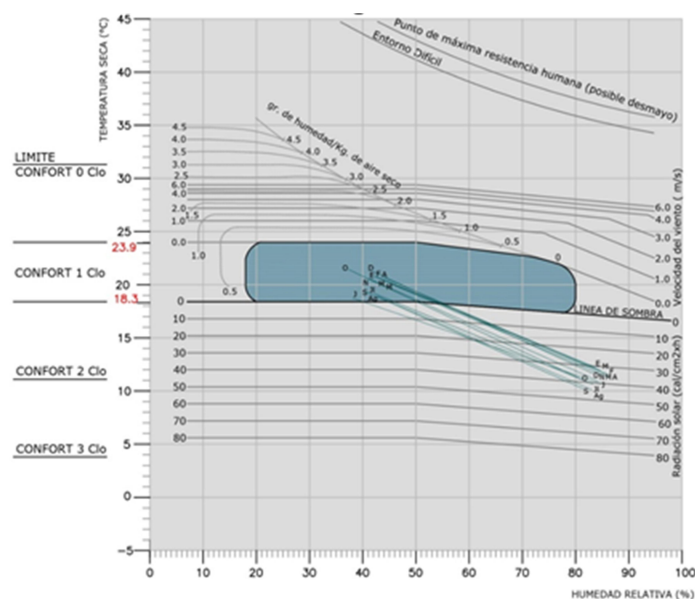


Figura 3. Climograma de confort de Cuenca. Fuente y elaboración: Propia.

El gráfico también muestra que para espacios con usos recreativos pasivos se requiere una radiación solar de hasta 40 cal/m²h (465.2 Wh/m²) en las primeras horas de la mañana y de generación de sombra entre las 11:00 y 14:00. Además, es necesario evitar el paso de viento a la altura de las personas para que no afecte a la sensación térmica.

En la Figura 4 se identifica que la exposición solar de las avenidas y calles que delimitan el Parque es variable (amarillo = alta exposición solar y azul = baja exposición solar). La Av. 12 de Abril es la que más radiación recibe al no existir elementos que generen sombra, en la Av. Florencia Astudillo la radiación se ve reducida únicamente por la sombra que generan algunas edificaciones a determinadas horas de la mañana. Finalmente, sobre la calzada de la Federico Malo hay menos radiación por su proximidad a las edificaciones que generan sombra por la tarde y bloquean los rayos del sol.

Gran parte de estas vías están expuestas a la radiación solar y alcanzan valores que sobrepasan los requerimientos de confort, a ello se suma la polución producida

por el flujo vehicular, volviéndose en zonas más propensas a generar O₃. Por otra parte, cuando se analizan diferentes puntos del Parque, se destaca que las áreas sin sombra pueden alcanzar un promedio diario de 4.5 kWh/m², dato que coincide con el promedio nacional, mientras que las zonas con sombra generada por la vegetación puede reducir aún más la radiación solar, alrededor de 3kWh/m² diariamente.

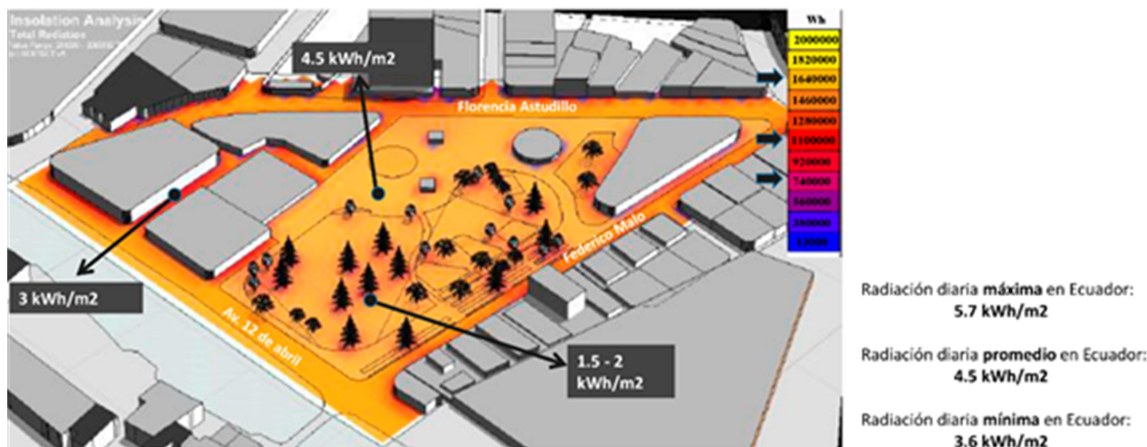


Figura 4. Radiación solar acumulada en un año en el Parque de la Madre. Fuente y elaboración: Propia.

En la Figura 5 se realiza una simulación de radiación solar acumulada en un año, que incide en una de las zonas pasivas del Parque en tres horarios distintos: 8:00 a 9:00 am; 10:00 a 11:00 am; y 12:00 a 13:00 pm. En el gráfico se observa que el requerimiento de radiación solar en el primer horario para mantener el confort es de 350 Wh/m². Sin embargo, en los dos siguientes horarios los requerimientos se van reduciendo hasta que no es necesaria ya la radiación solar y se hace imprescindible la generación de sombra, especialmente en el último horario en el que la radiación es muy alta y puede superar los 710 Wh/m².

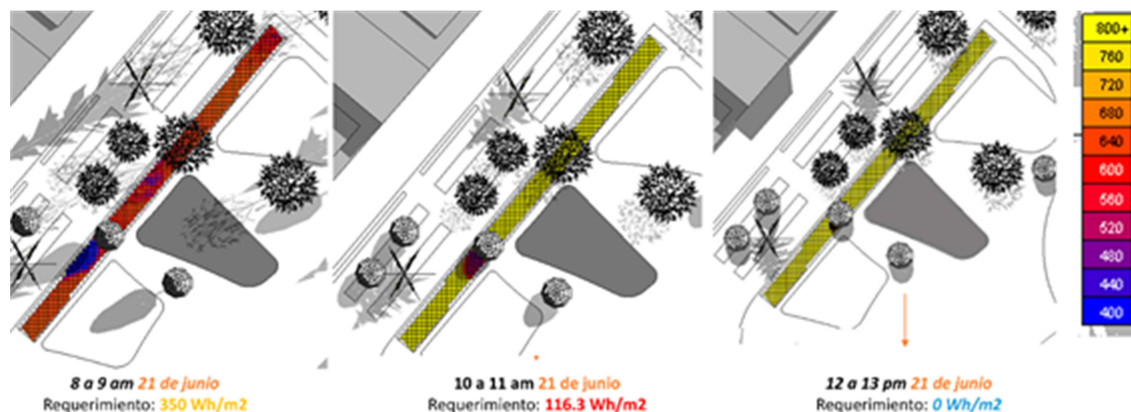


Figura 5. Radiación solar acumulada por horas en una zona pasiva del Parque de la Madre. Fuente y elaboración: Propia.

6. Conclusiones

La simulación de radiación solar en el caso de estudio muestra que la incidencia de radiación aumenta sustancialmente en superficies expuestas, tales como avenidas periféricas y zona sur del Parque. Entre las edificaciones se diferencia una menor radiación solar con respecto a las avenidas por la sombra generada entre edificaciones

colindantes. La vegetación ayuda a reducir la radiación solar incidente sobre superficies impermeables, regulando el clima y alcanzando el confort térmico en horas de mayor intensidad, entre las 11:00 y 14:00 horas.

Al mismo tiempo, en los informes de monitoreo de calidad de aire se visualiza que las mayores concentraciones de contaminación se registran en el centro histórico, lugar donde hay constante tráfico vehicular y mayor nivel de suelo impermeabilizado; en cambio, en estaciones ubicadas en el Ejido y zonas periféricas (a excepción de la estación Carlos Arízaga que se ubica a 300 metros del parque industrial) registran valores más bajos, áreas en donde existe mayor vegetación como los corredores de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y las áreas rurales.

Con esto se puede concluir que la actuación de la vegetación en los espacios abiertos genera un aporte muy importante, tanto para alcanzar el confort térmico como para la calidad ambiental incidiendo en la mejora de la salud humana.

7. Recomendaciones

Este estudio nos lleva a recomendar lo siguiente:

- Incorporar en lo posible vegetación arbórea en los espacios públicos existentes.
- Establecer normativas que exijan la incorporación obligatoria de árboles en los nuevos proyectos de espacio público: vías, plazas, parques, etc.
- Planificar nuevos y más extensos parques en las áreas periféricas de la ciudad, o espacios en proceso de consolidación; sobre todo en aquellos sectores que registran mayores niveles de contaminación, como en los alrededores del Parque Industrial.
- Profundizar la investigación en temas como isla de calor y efectos de los gases contaminantes en Cuenca.
- Profundizar la investigación para determinar qué especies vegetales son las más adecuadas en Cuenca según sectores.

Referencias

- [1] F. Fernández García and A. Martilli, “El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de madrid,” *Índice*, no. 50, pp. 21–24, 2012.
- [2] J. A. Acero, A. S. Moral, and J. Arrizabalaga, “Influencia de la vegetacion en la calidad del aire y el clima urbano,” in *Congreso Nacional de Medio Ambiente CONAMA*, 2010.
- [3] M. K. Svensson, “Sky view factor analysisimplications for urban air temperature differences,” *Meteorol. Appl.*, vol. 11, no. 3, pp. 201–211, 2004.
- [4] EPA, “Reducing urban heat islands: Compendium of strategies urban heat island basics,” pp. 1–22, 2008.
- [5] S. A. Lowe, “An energy and mortality impact assessment of the urban he at island in the us,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 56, pp. 139–144, 2016.
- [6] H. Akbary, “Energy saving potentials and air quality benefits of,” *Sol. Energy*, pp. 1–19, 2005.
- [7] R. O’Ryan and L. Larraguibel, “Contaminacion del aire en santiago: Estado actual y soluciones,” *Perspect. en Política, Econ. y Gestión*, vol. 4, pp. 1–42, 2000.

- [8] M. Nikolopoulou, N. Baker, and K. Steemers, “Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter,” *Sol. Energy*, vol. 70, no. 3, pp. 227–235, 2001.
- [9] Y. Wang and H. Akbari, “Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for montreal,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 26, p. 438446, 2016.
- [10] H. Akbari, D. M. Kurn, S. E. Bretz, and J. W. Hanford, “Peak power and cooling energy savings of shade trees,” *Energy Build.*, vol. 25, pp. 139–148, 1997.
- [11] S. Klaus, S. James, and M. E. Gregory, “Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions,” *J. Arboric.*, vol. 25, pp. 129–142, 1999.
- [12] M. P. Mínguez, *Claves para proyectar espacios públicos confortables. Indicador del confort en el espacio público. EESAP4*, 2013.
- [13] F. Service, E. G. Mcpherson, and J. R. Simpson, *Through Urban Forestry : Guidelines for Professional and Volunteer Tree Planters. USDA For Serv*, 1999.
- [14] C. J. Luley and J. Bond, *A Report to North East State Foresters Association A Plan to Integrate Management of Urban Trees into Air Quality Planning. Group*, 2002.
- [15] D. J. Nowak, D. E. Crane, and J. C. Stevens, “Air pollution removal by urban trees and shrubs in the united states,” *Urban For. Urban Green.*, vol. 4, no. 3-4, pp. 115–123, 2006.
- [16] J. Neila, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. MUNILLALERIA*, 2004.
- [17] N. A. Cáceres, “Segunda comunicación nacional sobre cambio climático,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [18] *Informe de calidad de aire cuenca 2014. Emov Ep*, 2014.
- [19] *Informe de calidad de aire cuenca 2013. Emov Ep*, 2013.
- [20] *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. OMS*, 2005.
- [21] X. Cordero and V. Guillén-Mena, “Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de cuenca introducción,” *Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, no. 2, pp. 61–75, 2013.
- [22] V. Guillén-Mena, “Metodología de evaluación de confort térmico exterior para diferentes pisos climáticos en ecuador,” in *Congr. Nac. Medio Ambient.*, 2014.