

NOTA TÉCNICA

ARBOLADO URBANO Y EFECTO ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Diego F. Alzate¹, Pilar Velandia², Diana Lara³, Manuel Rodríguez-Rocha⁴, Richard Gutiérrez⁵, Eliana Torres⁶, Yeimy Martínez⁷, German Tovar⁸, Suarez Claudia⁹.

RESUMEN:

El arbolado urbano tiene un rol esencial en la mitigación del Efecto Isla de Calor en la ciudad de Bogotá. Para conocer su influencia, se aplicaron controles de calidad, pruebas de homogeneidad y rellenado de series a los datos de temperatura del aire para el período 2008 – 2018 de 45 estaciones climáticas en el área de influencia urbana y rural de la ciudad. Se utilizó el modelo regionalizado de lluvia RegNIE para interpolar y generar la superficie de temperatura media del aire tanto en el área urbana como rural aledaña a la ciudad. Bosa, Ciudad Bolívar, Los Mártires, Tunjuelito y Rafael Uribe son las localidades con mayor Efecto Isla de Calor (EIC) que osciló entre 1.5 a 2.3 °C en un período de 10 años. Antonio Nariño, Barrios Unidos, Candelaria, Chapinero, Kennedy, Puente Aranda, Santa Fe, Teusaquillo y Usme tienen un EIC entre 1 y 1.5°C y Engativá, Fontibón, San Cristóbal, Suba y Usaquén entre 0.3 y 1°C. La correlación entre el EIC por localidad, el número de árboles y el indicador de provisión de hábitat y conectividad (VHB) arrojó una relación inversa (coeficientes de determinación de 0.22 y 0.63, respectivamente). El efecto de mitigación del EIC por parte del arbolado urbano fue de 0.1°C en 10 años.

Palabras clave: efecto isla de calor, arbolado urbano, indicador de provisión de hábitat, cambio climático, temperatura media del aire, interpolación, mitigación.

INTRODUCCIÓN:

El efecto isla de calor se presenta en áreas urbanas y se caracteriza por mayores temperaturas de la superficie con respecto a las áreas no urbanas circundantes (Voogt y Oke, 2003; IPCC, 2007). Puede ocurrir durante el día y la noche, y está influenciado por factores como las actividades antropogénicas, la presencia de superficies impermeables, el paisaje y la forma de la ciudad, aspectos meteorológicos, climáticos, topografía y ubicación (Arnfield, 2003).

Según Mahdavi A. et al. (2016), las mayores temperaturas urbanas pueden ser explicadas en parte por las características de los materiales utilizados para la construcción de edificios, pavimentos y carreteras. Otros factores como el diseño y la estructura urbana, topografía, morfología, densidad, cantidad y áreas de espacios abiertos, transporte e industria pueden ser claves para entender el EIC y su magnitud, debido a que afectan entre otras cosas, la forma en que la radiación solar es absorbida y la forma en que las masas de aire fluyen a través del tejido urbano. Las observaciones empíricas en muchas ciudades del mundo apuntan a temperaturas urbanas significativamente más altas que el entorno rural circundante.

¹ Ingeniero Forestal, Magister en Ingeniería Ambiental. Secretaría Distrital de Ambiente, Subdirección de Silvicultura Flora y Fauna Silvestre, Grupo de Investigación, Bogotá, Colombia, diego.alzate@ambientebogota.gov.co

² Ingeniero Forestal. Correo: rosaura.velandia@ambientebogota.gov.co

³ Ingeniera Forestal- Coordinadora Grupo de investigación. Correo: diana.lara@ambientebogota.gov.co

⁴ Biólogo. Correo: manuel.rodriguez@ambientebogota.gov.co

⁵ Ingeniero Catastral. Correo: richard.gutierrez@ambientebogota.gov.co

⁶ Ingeniera Forestal. Correo: eliana.torres@ambientebogota.gov.co

⁷ Ingeniera Forestal. Correo: jeimy.martinez@ambientebogota.gov.co

⁸ Ingeniera Forestal. Correo: german.tovar@ambientebogota.gov.co

⁹ Ingeniera Forestal- subdirectora Silvicultura Flora y fauna silvestre. Correo: claudia.suarez@ambientebogota.gov.co

De acuerdo con lo anterior, y dado que uno de los factores más importantes en la mitigación del EIC es el arbolado urbano, el presente documento tiene como objetivos: 1) Conocer la influencia del arbolado urbano de Bogotá en la mitigación del “efecto isla de calor atmosférico”, 2) Generar la base de datos alfanumérica y espacial de temperaturas medias mensuales para el período 2008-2018 en la ciudad y zonas rurales aledañas, 3) Calcular el efecto isla de calor atmosférico (EIC) por localidad para el período 2008-2018 y 4) Cuantificar la influencia del arbolado urbano en la mitigación del EIC y Cambio Climático en la ciudad.

MÉTODOS

Para determinar el efecto isla de calor es necesario conocer las temperaturas del aire en diferentes puntos de la ciudad y compararlos con las temperaturas del aire en las zonas rurales aledañas (Sobrino et al, 2013). De esta forma, se puede conocer cómo los diferentes tipos de coberturas sean vegetales o impermeables absorben la radiación solar de forma diferenciada y como en las ciudades tiende a existir de forma general, mayores temperaturas del aire (Voogt y Oke, 2003; IPCC, 2007). El esquema metodológico se muestra en la Figura 1.

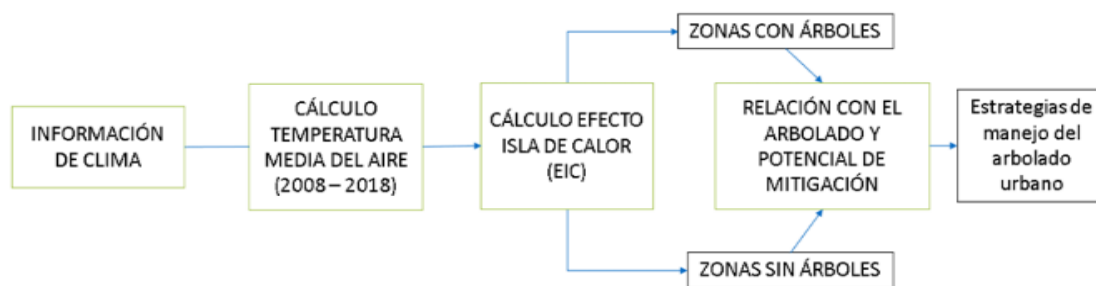


Figura 1. Esquema metodológico

Área de estudio

El área de estudio es la jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA, establecida en la Resolución 228 de 2015. Sin embargo, para la estimación del efecto “isla de calor” es necesario conocer las temperaturas en las zonas rurales aledañas a la ciudad, por lo cual se estableció un buffer denominado área de influencia de 20 km alrededor de este límite de jurisdicción, el cual es inferior al máximo recomendado de 100 km (WMO, 2014). Para definir el área rural de referencia se seleccionaron zonas al interior del área de estudio con el mismo rango de elevaciones que el área urbana, pero por fuera de esta (Figura 1).

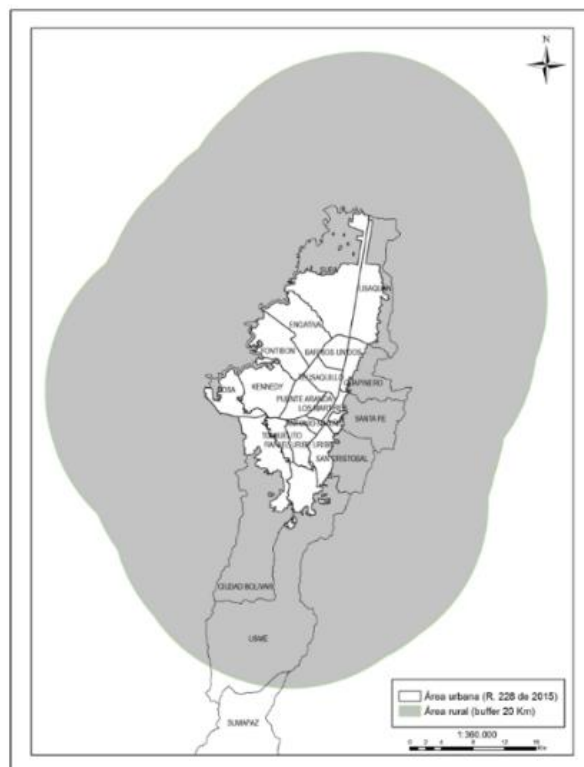
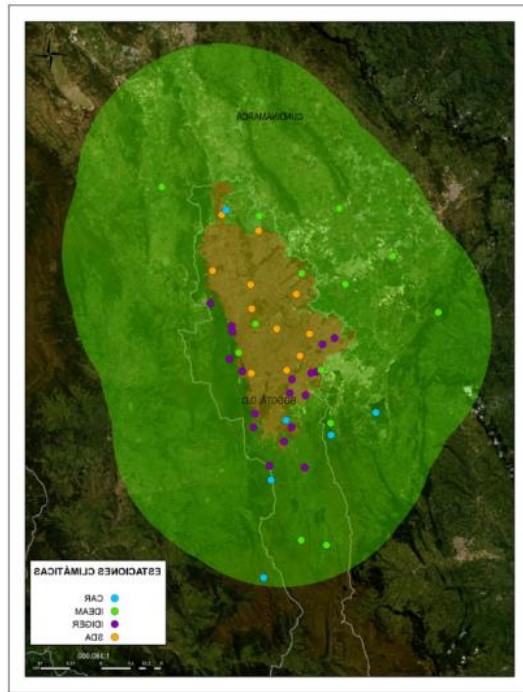


Figura 1. Área de estudio. En gris se observa el área rural y en blanco el área urbana. Fuente: SDA, 2015. Modificado Autores.

Base de datos climática alfanumérica

Para la generación de la base de datos de temperaturas, se identificaron 4 fuentes de información en la ciudad de Bogotá y sus alrededores: Red de Monitoreo de la calidad del aire RMCAB (<http://201.245.192.252:81/>), Red de estaciones de la CAR (<https://www.car.gov.co/vercontenido/2524>), Red de estaciones IDEAM (<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>) y la Red Hidrometeorológica de Bogotá -RHB (IDIGER). Se seleccionaron 49 estaciones cuya ubicación espacial y registros son relevantes para el presente estudio (Figura 2).

Figura 2. Mapa de ubicación de estaciones climáticas seleccionadas para el estudio. En azul claro se muestran las estaciones de la CAR, verde claro corresponde a las estaciones de IDEAM, en morado las estaciones del IDIGER y en naranja las de la Secretaría Distrital de Ambiente.



Selección del período de análisis

Se evaluó la disponibilidad de información por estación para cada una de las fuentes seleccionadas y se definió como criterio de selección el periodo común a todas las fuentes de información (urbanas y rurales).

Controles de calidad de las series

Se definió el rango permitido para los registros en las series de temperatura de -10°C a 40°C , el cual está acorde con los valores mínimos y máximos absolutos de temperatura para el periodo 1970 - 2000 (IDEAM, 2019). En cuanto a la coherencia interna se definió el umbral de 4 desviaciones estándar para identificar datos extraordinarios y evaluar si corresponden a un evento extremo o a un error digital. Para establecer la coherencia temporal se evaluó la secuencia temporal de información de observaciones comprobando valores iguales consecutivos (Alzate et al., 2015). Con el fin de evaluar la homogeneidad se realizó un proceso de clusterización o zonificación de las estaciones por valores de temperatura, para luego aplicar la prueba SNHT test (Standard Normal Homogeneity Test) o Alexandersson para detectar cambios en las series (Alexandersson, 1986). A través del método de las proporciones (Paulhus y Kohler, 1952 citado por Guijarro, 2011), el cual utiliza la técnica de interpolación espacial y los valores de las variables registradas en estaciones vecinas dando ponderación a la distancia entre estaciones fueron completados los registros faltantes en las series. En este proceso se utilizó la extensión Climatol V.3.1.2, desarrollado como software libre con licencia GNU-GPL para usar sobre el software R (Guijarro, 2011). Este proceso se aplicó a la totalidad de las series de temperatura. Al final del proceso de reconstrucción de series, las series completas, es decir, con la totalidad de datos para el periodo 2008 - 2018 para las estaciones de la base de datos, fueron exportadas a formato *.csv.

Generación de la base de datos espacial

La generación de las superficies de temperaturas medias mensuales para el periodo 2008 – 2018 se realizó a través del método de interpolación regionalizada RegNIE (Rauthe et al., 2013) mediante el paquete RegRAIN para R (Alzate,

2017) y utilizando el MDE SRTM de 90 metros re-escalado a 500 metros (Jarvis et al, 2008). Según Bustamante (2003), los modelos de interpolación lineal de la elevación, latitud y longitud producen resultados bastante satisfactorios para la interpolación de la temperatura (entre 80-90 % de la varianza explicada).

Cada superficie generada se evaluó a través de la estimación del ajuste y error mediante la técnica de validación cruzada dejando un valor afuera en cada iteración, en la cual K (número de agrupaciones de datos) es igual a N (número de puntos de datos en el conjunto).

Estimación del efecto isla de calor (EIC)

Considerando que el efecto Isla de Calor - EIC se puede calcular como la diferencia entre el promedio de temperatura del aire registrado por estaciones urbanas y el promedio de temperatura del aire medido en estaciones rurales (Morris, Simmonds y Plummer 2001 citado por Sobrino et al, 2013), se aplicó la siguiente ecuación para la cuantificación del efecto isla de calor por localidad:

$$EIC = T_{urban} - T_{rural} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde,

EIC = Efecto Isla de Calor (°C)

T_{urban} = Temperatura media del aire en estaciones meteorológicas urbanas.

T_{rural} = Temperatura media del aire en estaciones meteorológicas rurales.

Se obtuvo la superficie de Temperatura Media del Aire para el período 2008 – 2018 (T_m) a través del promedio de las superficies de temperaturas mensuales de la base de datos espacial generada previamente. A través de corte por máscara se generaron las superficies de T_m para cada localidad utilizando la capa del área urbana.

Mitigación del EIC por el arbolado urbano

La influencia del arbolado urbano en el EIC se evaluó a partir del número de árboles localizados en el espacio público de uso público de cada localidad, el índice de provisión de hábitat y conectividad (VHB) por localidad (relación entre la densidad de copa y la perennidad del follaje) y comparaciones de las temperaturas medias entre zonas con árboles y sin árboles.

De acuerdo con Casanoves et al (2011), el cálculo del indicador VHB tiene en cuenta los siguientes rasgos funcionales: Densidad de copa (D_c) y Perennidad del follaje (P_n). Se ponderan los valores de las clases de rasgos de tal forma que cada clase subsecuente de densidad de follaje tenga tres veces el valor de la clase anterior, y las especies subperennifolias y perennifolias 2 y 3 veces el valor de las caducifolias respectivamente. Los valores se ponderan por un factor $i = 100/27$, para expresarlos en el intervalo de escala propuesta.

$$VHB = 3^{D_c - 1} \times P_n \times i \quad \text{Ec. 2}$$

Como insumo principal se utilizó la capa SIGAU (JBB, 2019), con información espacial del arbolado urbano de la ciudad de Bogotá en cuanto a especies (nombre común y científico), variables dasométricas, emplazamientos y su localización.

RESULTADOS

Base de datos alfanumérica

La información de las 49 estaciones climáticas seleccionadas se recopiló y almacenó en archivos con formato de valores separados por comas (*.csv) para la variable temperatura del aire por estación. La estructura y porcentaje de información se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuentes de información y características de la base de datos climática del estudio

Fuente	Número	Período	Resolución Temporal	Cantidad datos (%)
RM CAB SDA	11	2008 2018	Horaria	61.5
RHB IDIGER	19	2011 2018	Horaria	62.8
CAR	6	2008 2018	Mensual	73.4
IDEAM	13	2008 2018	Mensual	95.3

Fuente: Autores, 2019.

Selección del período de análisis

Debido a las diferencias en los periodos de la información disponible de las diferentes redes y estaciones seleccionadas, y con el fin de priorizar la información al interior de la ciudad, se definió como período de análisis 2008 a 2018, por ser un período común a la mayoría de las estaciones que componen la base de datos climática alfanumérica compilada.

Controles de calidad de las series

Se verificaron los datos de todas las series para detectar valores atípicos o raros y se aplicaron filtros gruesos con el fin de eliminar dichos valores de acuerdo con los umbrales definidos. Una vez aplicados los filtros y ajustes de esta primera etapa, se obtuvo una base de datos de 45 estaciones con registros de temperaturas sin valores erróneos o atípicos y con coherencia en sus registros. La cantidad y disponibilidad de información por estación y por año se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Cantidad de registros por estación y por año.

Base de datos espacial

Utilizando el método de interpolación RegNIE y el paquete RegRAIN para R (Alzate, 2017) se generaron 132 superficies mensuales de temperatura media del aire para el período 2008 – 2018.

Estimación del efecto isla de calor (EIC)

Área urbana (Resolución 228/2015)

Las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Rafael Uribe Uribe presentan las mayores temperaturas con predominio de áreas entre 16 y 17°C de temperatura media mensual. Les siguen las localidades de Puente Aranda, Los Mártires y Chapinero con temperaturas entre 15 y 16 °C y las de menores temperaturas que oscilan entre 14 y 15°C son las localidades de Suba, Usaquén, Engativá, y San Cristóbal. El promedio de la temperatura media mensual por localidad se muestra en la Tabla 2.

Área rural aledaña

La temperatura media del aire para la zona rural oscila entre 12 y 15°C, a excepción de las zonas aledañas a la localidad de Bosa que se encuentran cercanas a los 16°C. El promedio de la temperatura media del aire en el área rural para el período 2008 – 2018 es de 13.7°C. El EIC por localidad y su distribución para el área urbana de Bogotá, refleja como las localidades de Bosa, Ciudad Bolívar, Los Mártires, Tunjuelito y Rafael Uribe Uribe son las de mayores diferencias de temperaturas (1.5 a 2.3 °C) con respecto al área rural de referencia. Les siguen las localidades de Antonio Nariño, Barrios Unidos, Candelaria, Chapinero, Kennedy, Puente Aranda, Santa Fe, Teusaquillo y Usme con entre 1 y 1.5°C y las localidades de Engativá, Fontibón, San Cristóbal, Suba y Usaquén con entre 0.3 y 1 °C de diferencia en la temperatura media mensual con respecto al área rural de referencia para el período 2008 - 2018. El EIC por localidad se muestra en la Figura 4 y su distribución territorial en la Figura 5.

Tabla 4. Temperatura media mensual para el periodo 2008 – 2018 por localidad en el área de jurisdicción SDA resolución 228 de 2015

No.	Localidad	Tm (°C)
1	Antonio Nariño	15.0
2	Tunjuelito	16.0
3	Rafael Uribe Uribe	15.5
4	Candelaria	15.0
5	Barrios Unidos	14.8
6	Teusaquillo	15.1
7	Puente Aranda	14.9
8	Los Mártires	15.2
10	Usaquén	14.6
11	Chapinero	15
12	Santa Fe	14.9
13	San Cristóbal	14
14	Usme	14.8
15	Ciudad Bolívar	15.2
16	Bosa	15.7
17	Kennedy	15.1
18	Fontibón	14.6
19	Engativá	14.4
20	Suba	14.3

Fuente: Autores, 2019.

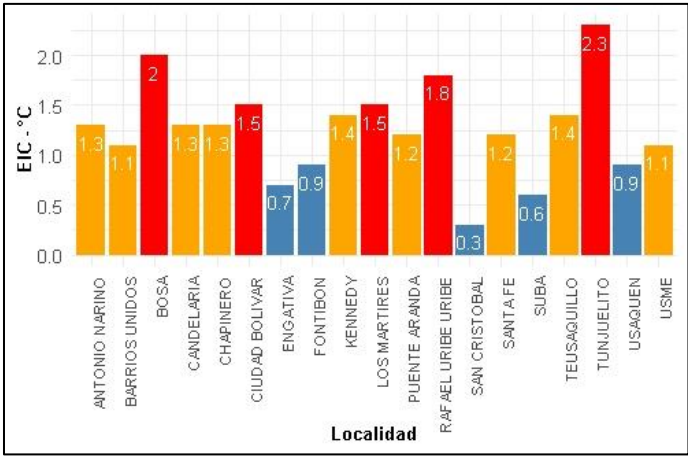


Figura 4. Efecto Isla de Calor EIC (°C) por localidad para el periodo 2008 – 2018.

follaje como por ejemplo si el árbol es propenso a perder las hojas en alguna época del año. El indicador de provisión de hábitat y conectividad (VHB) permitió correlacionar adicionalmente las variables de densidad de copa (Dc) y Perennidad del follaje (Pn) de los árboles de cada localidad para obtener un valor que expresa de mejor forma la capacidad de atenuar o regular las temperaturas del aire. Esto se evidenció en el ajuste de la regresión lineal, la cual obtuvo un coeficiente de determinación de 0.63, que indica que entre más alto el valor VHB, menor será el valor EIC, es decir, explica de forma más consistente como el arbolado aporta en la mitigación del EIC. Sin embargo, no todo el arbolado de la ciudad presenta las mejores características para la atenuación del EIC, es decir, solo aquellos de gran tamaño, copa densa y perennifolias son realmente efectivos en la regulación del EIC y eventualmente del cambio climático.

Al comparar las temperaturas medias para el período 2008 – 2018 entre las zonas o píxeles con árboles y sin árboles a nivel urbano se obtuvo una diferencia de 0.1°C, con menor temperatura, como era de esperarse, para las zonas con árboles. Este valor de diferencia se puede considerar como el efecto de mitigación en conjunto de todo el arbolado de la ciudad y si se compara con el aumento de temperatura superficial continental del planeta entre 1979 y 2005 de 0.27°C por década (IPCC, 2007) y entre 0.2 y 0.3°C (IPCC, 2014), representaría entre un 30 y un 50% del calentamiento por década para ese período.

Lo anterior resalta el gran potencial de mitigación que tiene el arbolado urbano para las próximas décadas en la ciudad, el cual sería del orden de 0.6 a 1.5°C si consideramos entre un 30 y 50% de mitigación ante aumentos esperados de 2 a 3°C para el año 2070 (IDEAM et al, 2015). En ese sentido, es fundamental definir estrategias de manejo del arbolado urbano orientadas a introducir árboles a las localidades con mayores valores del EIC y menores valores del VHB, así como mejorar las características del arbolado de las demás localidades para incrementar los valores del indicador VHB, que implicaría introducir especies que logren buena densidad de copa y de tipo perenne, principalmente.

CONCLUSIONES

Las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Rafael Uribe registraron mayores temperaturas durante el período 2008 – 2018, con predominio de áreas entre 16 y 17°C de temperatura media mensual. Les siguieron las localidades de Puente Aranda, Los Mártires y Chapinero con temperaturas medias entre 15 y 16 °C. Menores temperaturas medias se registraron en Suba, Usaquén, Engativá, y San Cristóbal con valores entre 14 y 15°C. Bogotá presenta una tendencia a la disminuir la precipitación y a la homogenización del clima.

En concordancia con lo anterior, las localidades de Bosa, Ciudad Bolívar, Los Mártires, Tunjuelito y Rafael Uribe Uribe presentan los mayores valores de EIC de largo plazo con valores entre 1.5 a 2.3 °C con respecto al área rural aledaña.

Las localidades de Antonio Nariño, Barrios Unidos, Candelaria, Chapinero, Kennedy, Puente Aranda, Santa Fe, Teusaquillo y Usme registraron valores del EIC entre 1 y 1.5°C y Engativá, Fontibón, San Cristóbal, Suba y Usaquén entre 0.3 y 1 °C para el período 2008 - 2018.

Existe una relación inversa entre el número de árboles y los valores del EIC por localidad, sin embargo, el ajuste expresado a través del coeficiente de determinación es bajo, lo que indica que el número de árboles explicaría alrededor del 20% de la distribución territorial del EIC.

El indicador VHB (hábitat y conectividad) resultó mejor para explicar la distribución del EIC en la ciudad, al presentar un ajuste estadísticamente significativo ($R^2 = 0.63$), que puede explicarse porque incorpora adicionalmente variables como la densidad de copa y características de pérdida de hojas en algunas épocas en el año de los árboles que componen el arbolado en cada localidad. Estas variables deben ser registradas siempre que se realicen inventarios en el arbolado urbano.

El efecto de mitigación del cambio climático y del EIC por parte del arbolado urbano de Bogotá sería de entre un 30% y un 50 % si se compara con el valor de 0.27 °C de aumento de la temperatura superficial continental del planeta entre 1979 y 2005 que menciona el IPCC (2007). Esto se explica porque las zonas con árboles en la ciudad son en promedio 0.1°C menos calientes que las zonas sin árboles para un período de 10 años (2008 – 2018).

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandersson H. (1986) A homogeneity test applied to precipitation data. *J Climatol* 6(6):661–675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J. & Ramón, J. (2015). Cambio climático y variabilidad climática para el periodo 1981-2010 en las cuencas de los ríos Zulía y Pamplonita, Norte de Santander – Colombia. *Revista Luna Azul*, 39, 127-153. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=1004>
- Alzate-Velásquez, D.F. (2017) RegRAIN: Method RegRAIN (MLR, Spline and IDW) for spatial interpolation of daily rainfall and air temperature data from climate stations. R package version 0.1.0.
- Arnfield A J, 2003, "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island" *International Journal of Climatology* 23 1 – 26.
- Bustamante, J. (2003). Cartografía predictiva de variables climatológicas: Comparación de distintos modelos de interpolación de la temperatura en España peninsular. *Graellsia*, 2-3, 359-376. DOI: <https://doi.org/10.3989/graellsia.2003.v59.i2-3.252>
- Casanoves Fernando, Pla Laura, Di Rienzo Julio A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Informe Técnico No. 384. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Guijarro, J. A. (2011) User's guide to Climatol V2.0. An R contributed package for homogenization of climatological series (and functions for drawing wind-rose and Walter&Lieth diagrams), <http://webs.ono.com/climatol/climatol.html>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- IDEAM, (2019) Promedios 1971-2000. IDEAM. Consultado el 18 de octubre de 2019.
- IPCC AR4 WG1 (2007) Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L., eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (en inglés). Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88009-1. (pb: 978-0-521-70596-7)
- IPCC, (2014) *Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. in IPCC AR5 Synthesis Report website
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, (2008) Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>
- JBB (2019). Sistema Integral de Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá (SiGAU). Jardín Botánico de Bogotá. <http://www.jbb.gov.co/index.php/sigau>.
- Mahdavi A., Kiesel K., Vuckovic M. (2016) Methodologies for UHI Analysis. In: Musco F. (eds) *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*. Springer, Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3->

- Morris, C. J. G., I. Simmonds, and N. Plummer (2001) "Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City." *Journal of Applied Meteorology* 40: 169–82.
- Paulhus, J. Y Kohler, M. (1952) Interpolation of missing precipitation records. *Month. Weath. Rev.*, 80, 129-133.
- Qin, Z., Dall'Olmo, G., Karnieli, A., & Berliner, P. (2001). Derivation of split 68 window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high-resolution radiometer data. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 106(D19), 22655–22670. <https://doi.org/10.1029/2000JD900452>
- Rauthe, M., Steiner, H., U., Riediger, A., Mazurkiewicz, A., & Gratzki, A. (2013) A Central European precipitation climatology–Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). *Meteorologische Zeitschrift*, 22(3), 235-256. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0436>
- Sobrino J.A., Oltra-Carrió R., Sòria G., Jiménez-Muñoz J. C., Franch B., Hidalgo V., Mattar C., Yves J., Cuenca J., Romaguera M., Gómez J. A., De Miguel E., Bianchi R. & Paganini M. (2013). Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 34:9-10, 3177-3192, DOI: 10.1080/01431161.2012.716548
- Secretaría Distrital de Ambiente – SDA. (2015) Resolución 228 de 2015. Disponible en: <http://www.gobiernobogota.gov.co/sgdapp/?q=normograma/usme/resolucion-228-de-2015>
- Voogt, J.A. and Oke, T.R. (2003) Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- World Meteorological Organization (2014) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 1128pp. (WMO-No.8). <http://hdl.handle.net/11329/365>