



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Efecto del cambio climático en la distribución espacial de tormentas de lluvia para Bogotá

Fabio Rubiano Sánchez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Humanas
Departamento de Geografía
Bogotá D.C., Colombia
2023

Efecto del cambio climático en la distribución espacial de tormentas de lluvia para Bogotá

Fabio Rubiano Sánchez

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Análisis Espacial.

Director: José Daniel Pabón Caicedo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Humanas
Departamento de Geografía
Bogotá D.C., Colombia
2023

*Dedicado a He krsna karuna-sindhu
dina-bandho jagat-pate
Gopesa gopika-kanta
radha-kanta namo 'stu te*

Declaración de obra original

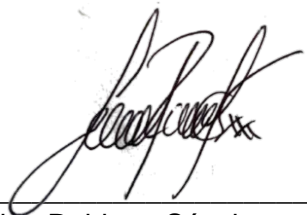
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre Propiedad Intelectual» y la normatividad nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Fabio Rubiano Sánchez

Fecha: 24/08/2023

Resumen

Efecto del Cambio Climático en la distribución espacial de tormentas de lluvia para Bogotá

El crecimiento de las grandes urbes a nivel mundial conlleva transformaciones significativas en la superficie y uso del suelo buscando satisfacer las necesidades de la población que habita allí. Para la ciudad de Bogotá, este proceso ha tenido un impacto importante, pues desde la época precolombina, la llegada de los europeos (Siglo XVII) y la aceleración del crecimiento urbano en el siglo XX la ciudad ha venido experimentando una metamorfosis constante.

La expansión urbana a gran escala trae consigo alteraciones o modificaciones a los sistemas naturales tanto en su estructura como funcionamiento, generando así cambios en la dinámica de intercambio de energía entre la superficie y atmósfera. Esto se ve de manera clara en la temperatura del suelo y aire, los patrones locales de circulación y convección, así como en el régimen de precipitación, dando indicios de cambio climático local.

Además de lo mencionado anteriormente que ocurre de manera local, Bogotá se puede ver influenciada por las tendencias globales relacionadas directamente al calentamiento global y cambio climático a gran escala, donde estudios indican aumento en la intensidad de los eventos de precipitación extrema.

Así que se plantea la necesidad de analizar la evolución de la distribución de las lluvias en la ciudad de Bogotá, con el propósito de disminuir la incertidumbre asociada a su comportamiento enfocado en proporcionar insumos técnicos para aumentar la capacidad adaptativa del territorio frente al cambio climático, puntualmente en términos de gestión de inundaciones tanto por desbordamiento como por encharcamiento.

Palabras clave: tormentas, cambio climático, precipitación, reanálisis , riego por encharcamiento, variabilidad climática.

Abstract

Effect of Climate Change on the Spatial Distribution of Rainstorms in Bogotá

The growth of large urban areas worldwide entails significant transformations in land surface and land use, aiming to meet the needs of the population residing there. For the city of Bogotá, this process has had a substantial impact, as it has undergone a constant metamorphosis since pre-Columbian times, the arrival of Europeans in the 17th century, and the rapid urban growth in the 20th century.

The large-scale urban expansion brings about alterations or modifications to natural systems, both in their structure and function, thus generating changes in the dynamics of energy exchange between the surface and the atmosphere. This is clearly reflected in soil and air temperatures, local patterns of circulation and convection, as well as in precipitation patterns, indicating signs of local climate change.

In addition to the aforementioned local changes, Bogotá can be influenced by global trends directly related to global warming and large-scale climate change, where studies indicate an increase in the intensity of extreme precipitation events.

Therefore, there arises the need to analyze the evolution of rainfall distribution in the city of Bogotá, with the purpose of reducing uncertainty associated with its behavior. This analysis aims to provide technical inputs to enhance the territory's adaptive capacity to climate change, particularly in terms of flood management, both in terms of overflow and waterlogging.

Keywords: storms, climate change, precipitation, reanalysis, flood irrigation, climate variability.

1. Introducción

En su desarrollo, las grandes urbes del mundo crecen modificando las diversas características de la superficie con el cambio de uso del suelo por la necesidad de atender la demanda de espacio de una creciente población. El crecimiento que ha tenido la ciudad de Bogotá en los últimos años (Figura 1), ha implicado cambios en el ambiente de la Sabana de Bogotá en la que está localizada, los cuales han venido ocurriendo desde la época precolombina (Rau, 1959; Broadbent, 1968), tuvieron un desarrollo particular con la llegada de los europeos a esta región (Rau, 1959; van der Hammen, 1999; Etter et al., 2008) y se aceleró en el siglo XX.



Figure 1. Crecimiento poblacional de la ciudad de Bogotá en el periodo 1938-2018..

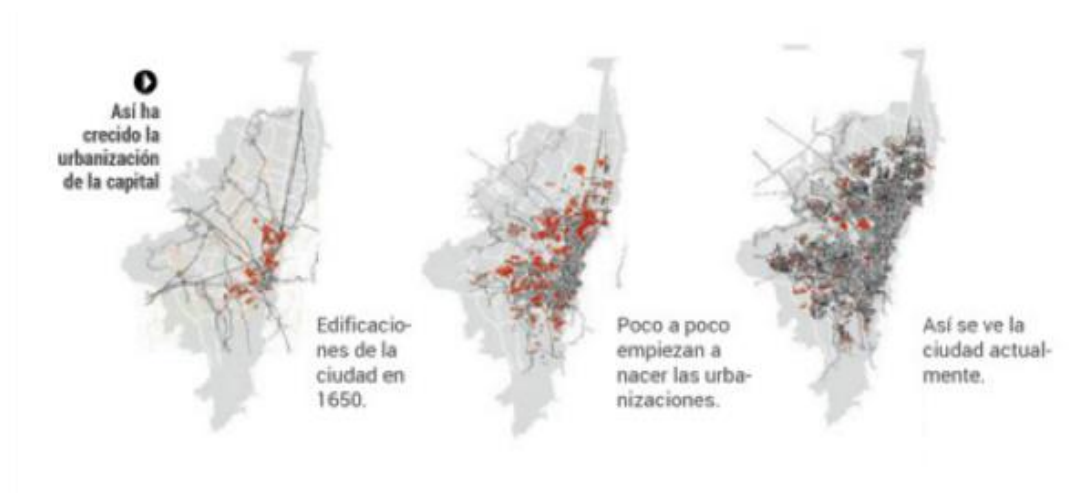


Figure 2. Representación esquemática de tres momentos en la evolución de la urbanización desde el siglo XVII en el área de la Sabana de Bogotá sobre la que se ubica el Distrito Capital.

El área donde se encuentra la ciudad de Bogotá ha tenido cambios importantes en su entorno desde la llegada de los conquistadores (van der Hammen, 1999). Desde entonces se han venido modificando las estructuras de los diferentes sistemas naturales allí presentes, cambiando el uso y cobertura del suelo, primordialmente relacionado con la expansión urbana a gran escala (Figura 2), lo que ha traído como resultado la modificación del altiplano agrícola para tener una urbe de gran magnitud.

El aumento de la zona urbana, como el ocurrido en la Sabana de Bogotá donde se localiza la ciudad, ha traído diferentes modificaciones o alteraciones del medio físico biótico, de la red hídrica lo que ha repercutido en la dinámica del intercambio de energía y humedad entre la superficie y la atmósfera (Suazo, 2022), lo que se evidencian en la temperatura del suelo y del aire, en los patrones de circulación y convección local y en régimen pluviométrico sobre el espacio urbano. Una de las evidencias más claras de este cambio climático local es la isla de calor urbana, insinuada por Caldas (ACCEFyN, 1978:61) y estudiada recientemente por Pabón et al. (1998), Poveda (2006) y Ángel et al.(2010). Los cambios en el clima local que se han generado, a su vez han venido produciendo cambios en la distribución espacio temporal, así como en la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos de lluvia que se registran sobre la ciudad, lo que trae problemas en cuanto

al manejo de la escorrentía superficial y de drenaje que originan inundaciones súbitas que afectan la movilidad urbana y crecientes súbitas que en ocasiones terminan en situación de desastre.

De otra parte, además del cambio climático local inducido por la isla de calor, sobre la región influyen las tendencias asociadas al calentamiento global y al cambio climático (IPCC, 2021, 2022). En trabajos previos efectuados sobre cambio climático en el país (Pabón, 2011, 2012; IDEAM-UNAL et al., 2018), se señala que para el área en donde se encuentra la ciudad de Bogotá en los últimos años los extremos de precipitación estarían aumentando; en IDEAM-UNAL et al. (2018) es posible identificar que, sobre la ciudad, los extremos de precipitación han aumentado su intensidad.

Sobre la base del anterior diagnóstico, surgió la necesidad de realizar el análisis de la evolución de la distribución de los extremos de precipitación sobre la ciudad de Bogotá para comprender lo que está ocurriendo y en el largo plazo con estos fenómenos y generar información que sirva de base para la adaptación de la ciudad al cambio climático.

2. Datos y Metodología

Para el desarrollo de este estudio se tomó la zona ubicada definida dentro del perímetro urbano de la ciudad de Bogotá y se trabajó con información de lluvias de la red existente operada y procesada por la Empresa de Acueducto de Bogotá, quienes han venido realizando estudios de caracterización de tormentas y como resultado de dichos estudios alimentan de manera constante la base de datos del Sistema de Información Hidrológica de la entidad; así pues se estableció la metodología que se explica a continuación:

- Fueron seleccionadas series de precipitación diaria de las estaciones Sistema de Información Hidrológica de la Empresa de Acueducto de Bogotá que dispone de mediciones en el área de estudio. En total se cuenta con series de datos de precipitación diaria de 69 estaciones dentro del perímetro urbano y sus alrededores, de las cuales 50 se encuentran activas y los 19 restantes están suspendidas por diferentes razones. Estas últimas fueron útiles en complementar datos faltantes, para validación de determinados eventos que ocurrieron en el período en el que se realizaron las mediciones.
- Se definió un periodo de estudio en función de la longitud de las series para contar con el mayor número de estaciones con datos dentro del periodo (1970-2021) a analizar y lograr definir cómo han venido variando los valores para las duraciones de los eventos que se vayan a seleccionar. El parámetro que se tomó fue la precipitación total diaria.
- De las series para el periodo de estudio (1970-2021) se realizó un conteo de los eventos que se estaban por encima del percentil 99 calculado de la serie y así se logró analizar la tendencia para definir si existía un aumento o disminución de ocurrencia de eventos importantes
- Se realizó un análisis de frecuencia de los fenómenos extremos usando la distribución Gumbel y la Teoría General de Valores Extremos (General Extreme Values (GEV) theory) para un periodo móvil definido de 30 años verificando la respuesta para los diferentes periodos de retorno y sus posibles modificaciones.

- Con lo obtenido de las diferentes estaciones se realizó una espacialización de dicha información donde se definieron zonas donde han ocurrido variaciones (aumento o disminución) de la frecuencia e intensidad de los diferentes eventos de lluvia en la ciudad.

Resultados

Como resultado del análisis de las series de precipitación total diaria para las estaciones del estudio se logró determinar cómo se puede apreciar en las Figuras 3, 4 y 5. Que en el conteo de número de lluvia hay una disminución bastante particular

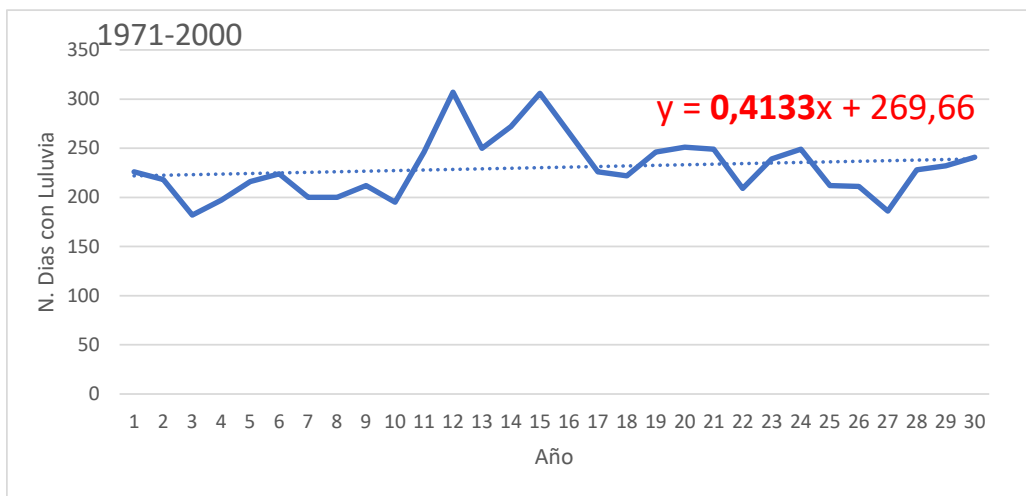


Figure 3. Gráfica número de días con lluvia periodo 1971-2000

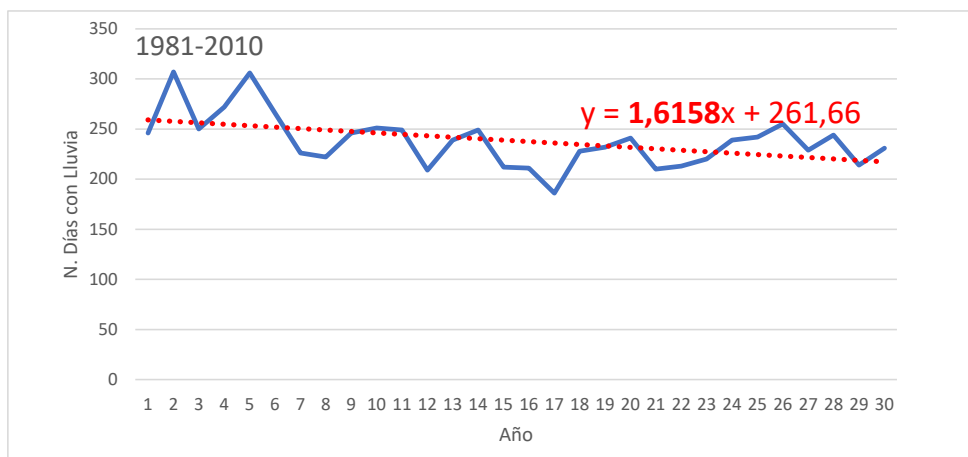


Figure 4. Gráfica número de días con lluvia periodo 1981-2010

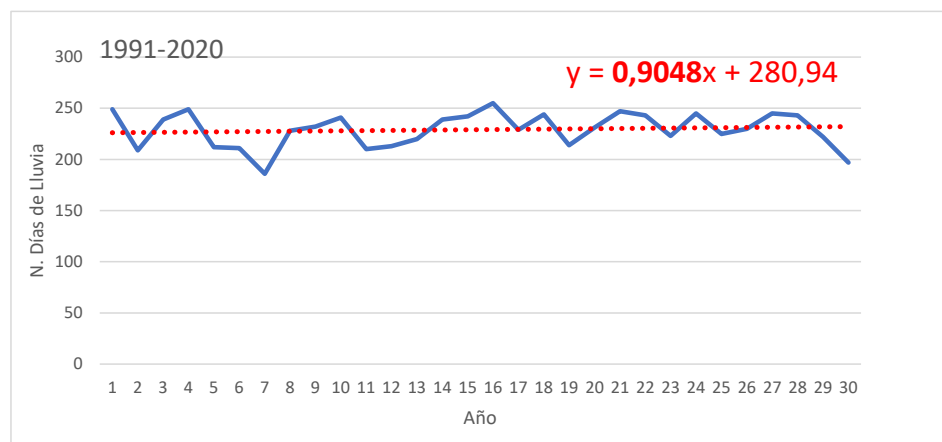


Figure 5. Gráfica número de días con lluvia periodo 1981-2010

Como se puede identificar en la curva de tendencia a largo plazo se ve de manera clara la tasa de disminución del número de días con lluvia afectando así la frecuencia en el largo plazo, esto se ve reflejado en la mayoría de las estaciones dentro de la red que se analizó.

Ahora bien, el siguiente resultado correspondió al análisis de la variabilidad interanual del número de eventos con precipitación diaria donde se superó al percentil 99 y su correspondiente tendencia a largo plazo como se muestra en las siguientes gráficas.

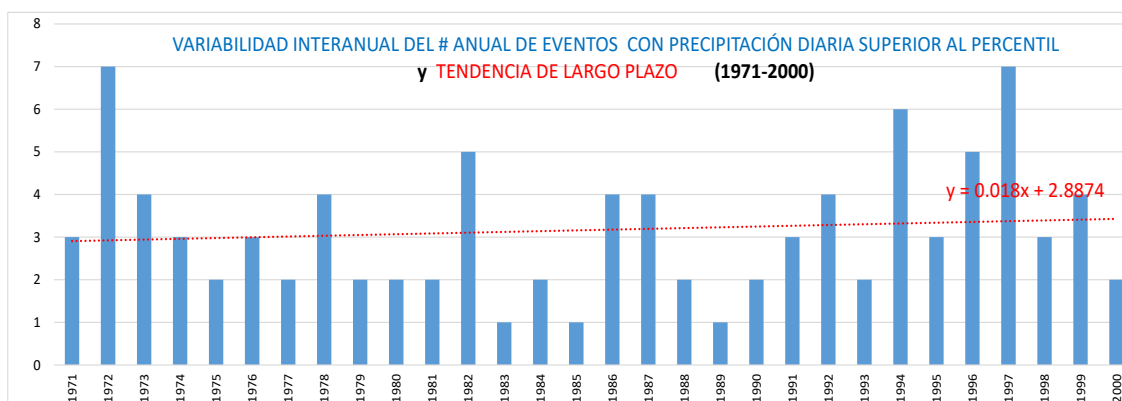


Figure 6. Variabilidad interanual del número de eventos con precipitación diaria superior al percentil 99. (1971-2000)

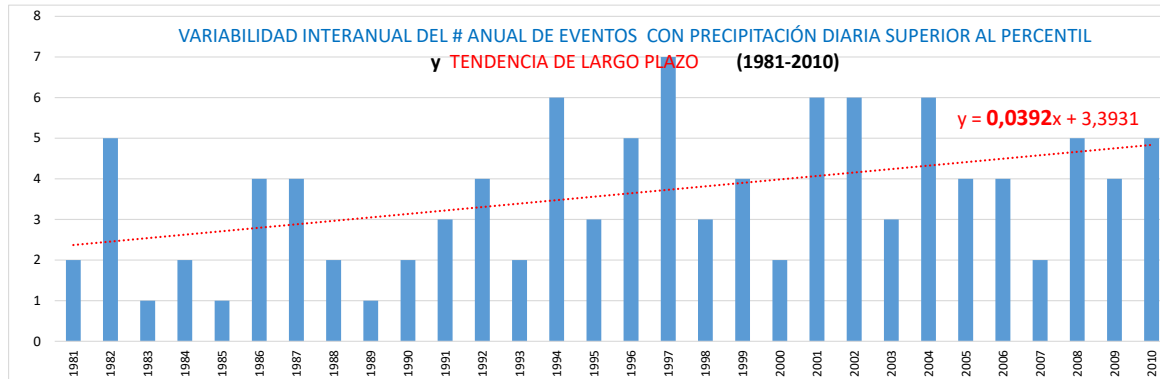


Figure 7. Variabilidad interanual del número de eventos con precipitación diaria superior al percentil 99. (1981-2010)

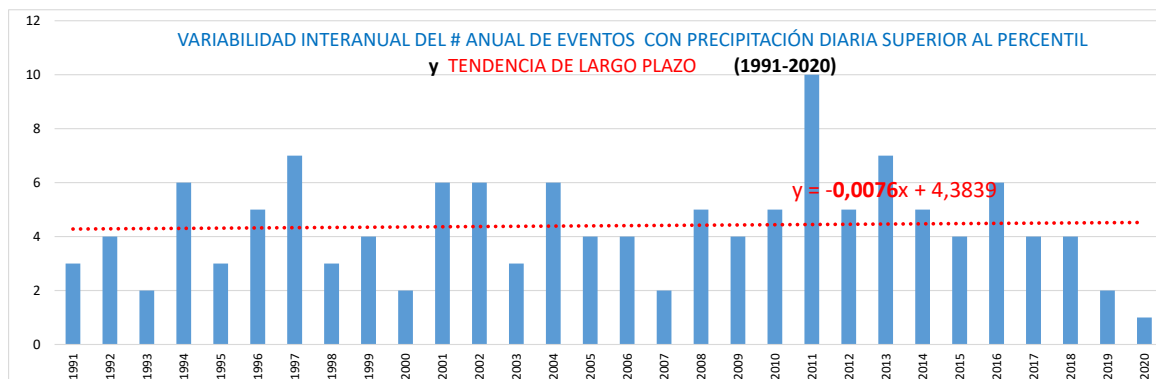


Figure 8. Variabilidad interanual del número de eventos con precipitación diaria superior al percentil 99. (1991-2020)

Como resultado del análisis del número de eventos que sobrepasaron el percentil 99 se tiende al aumento de estos eventos importantes teniendo así una variación en la intensidad de esos eventos correspondiendo la tendencia a largo plazo seguir incrementando el volumen de lluvia diaria como se aprecia en la siguiente gráfica.

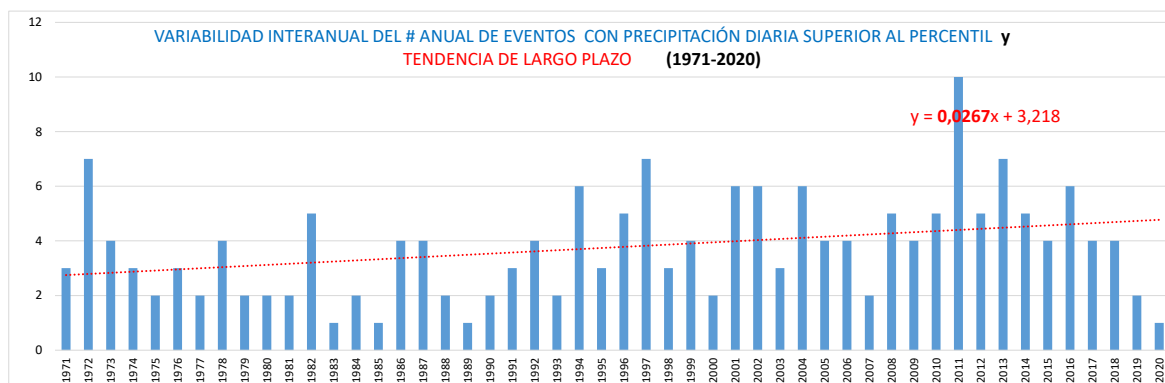


Figure 9. Variabilidad interanual del número de eventos con precipitación diaria superior al percentil 99. (1971-2020)

Como conclusión podemos identificar que los números de días con lluvia en el periodo analizado se encuentran con una disminución al largo plazo en la zona de estudio incidiendo en la frecuencia de los eventos, caso contrario viene sucediendo con los eventos que superan el percentil 99 influyendo en la intensidad de los eventos; lo que nos lleva definir que existe una variación tanto en frecuencia como intensidad de los eventos de lluvia para la zona de estudio teniendo disminución de eventos pero aumentando el volumen de lluvia en los que suceden.

Este análisis podría dar línea en la identificación de la gestión u operación del drenaje de la ciudad para evitar afectaciones por fenómenos extremos que podrían llegar a suceder y que según los resultados de este análisis pueden disminuir en frecuencia mas no en intensidad.

La continuación de este análisis podría darse desagregando a tormentas de duraciones más cortas donde también podría influir en los conceptos de diseño de los sistemas de drenaje para la ciudad pues en la actualidad el sistema tiene un diseño para unas intensidades y frecuencias particulares que podrían llegar a tener una variación en un horizonte de tiempo.

Bibliografía

- [1] ACCEFyN, 1978: Cartas de Caldas. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Bogotá D.E., 425 p.
- [2] Ángel, L., Ramírez, A., & Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacio - temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá, *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 34 (131): 173-183
- [3] Broadbent, S. M. (1968). A prehistoric field system in chibcha territory, Colombia. *Ñawpa Pacha Journal of Andean Archaeology*, 6(1), 135–147. doi:10.1179/naw.1968.6.1.007
- [4] Etter, A., McAlpine, C., Possingham, H. Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia Since 1500: A Regionalized Spatial Approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98, 2–23. (2008)
- [5] IDEAM-UNAL, Melo Franco J.Y., Ruiz Murcia J.F., Pabón Caicedo J.D., Sánchez Rodríguez I.C., Gúzman Lugo D.M., Armenta Porras G.E., Corredor Llano X., Guerrero Morillo M.A., Peña Beltrán Z.Y., Torres Soler G.A., Bonilla Velázquez B.E., Ortiz Olarte D.W., Bernal Suarez N.R., Lecanda García X., (2018). La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 53 p. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- [6] IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In press, doi:10.1017/9781009157896.
- [7] IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press..
- [8] Pabón, J. D., Pulido, S. I., Jaramillo, O., & Chaparro, J. A. (1998). Calor En La Sabana De Bogotá. *Cuadernos de Geografía*, VII(1–2), 7.
- [9] Pabón J.D. (2011). El cambio climático en la región de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá D.C., 128 páginas
- [10] Pabón J.D. (2012). Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 36 (139), pp.127-144
- [11] Poveda, E. (2008). Efecto del proceso de urbanización en el clima de Bogotá durante el período 1960- 2000. Trabajo de grado. Departamento de Geografía. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional de Colombia, 55p.

- [12] Rau, H.L (jr) (1959). Sequential Occupance and Settlement Patterns in the Sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Geográfica* (Pan American Institute of Geography and History). T25, No. 51), pp. 57-66
- [13] Suazo, J. A., Vasquez, R. A., Rojas, J. L. F., & Abi Karam, H. (2022). Temperatura superficial en América del sur para la identificación de islas de calor urbano superficial. *Alpha Centauri*, 3(1), 20-23.