

Climate change in the city of Medellin – Colombia, throughout fifty years (1960-2010)

Luis Fernando Restrepo-Betancur ^a, Carolina Peña-Serna ^b & María Fernanda Martínez-González ^c

^a Grupo Statistical, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. frbstatistical@yahoo.es

^b Grupo de Investigaciones en Ciencias Agrarias-GRICA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. carolina.pena@udea.edu.co

^c Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia. mafe1102@gmail.com

Received: December 20th, 2017. Received in revised form: December 21th, 2018. Accepted: February 25th, 2019.

Abstract

The assessment of the climate change is a major concern to the scientific community and the governmental agencies as it allows for planning and making corrective actions to mitigate its effects. The aim of this study was to compare the changes on minimum, medium and maximum temperature as well as relative humidity in the city of Medellin, Colombia throughout 1960 and 2010. The study is based on the data reported by the meteorological station 801100 (SKMD) and the statistical analyses were performed using the General Linear Model (GLM) and the multivariate analysis of the variance MANOVA with orthogonal canonical contrast. According to the results, the city of Medellin underwent a climate change in fifty years exhibiting an increase of 0.8°C on the medium temperature, 1.3°C on the minimum temperature and 0.5°C on the maximum temperature while relative humidity showed a descending trend with 2.3% decrease.

Keywords: human activities; greenhouse gases; environmental contamination; multivariate analysis of variance.

Cambio climático en la ciudad de Medellín – Colombia, en un periodo de cincuenta años (1960-2010)

Resumen

La evaluación del cambio climático es de gran interés para la comunidad científica y los entes gubernamentales ya que permite planear y realizar acciones correctivas a fin de mitigar sus efectos. El objetivo de este estudio fue comparar las variaciones de temperatura media, máxima y mínima al igual que humedad relativa en la ciudad de Medellín, Colombia durante 1960 y 2010. Los datos evaluados fueron reportados por la estación meteorológica 801100 (SKMD) y su análisis estadístico se llevó a cabo mediante el Modelo Lineal General (GLM) incorporando la técnica multivariada de la varianza MANOVA con contraste canónico ortogonal. Se estableció que en un periodo de cincuenta años la ciudad de Medellín experimentó un cambio climático, mostrando un aumento en la temperatura media de 0,8°C, 1,3°C en la temperatura mínima, 0,5°C en la temperatura máxima y una tendencia decreciente en la humedad relativa con disminución media de 2,3%.

Palabras clave: actividades humanas; gases de efecto invernadero; contaminación ambiental; análisis multivariado de la varianza.

1. Introducción

El clima está definido por la interacción de elementos meteorológicos como la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la presión, la velocidad del viento y la nubosidad. Este es un factor determinante en los ecosistemas ya que define junto con otras condiciones biofísicas la vida, los paisajes, aspectos geomorfológicos y de desarrollo

humano que se pueden dar en estos. Las actividades humanas dentro de las que se incluyen la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) por uso industrial o de automóviles y el cambio en el uso de la tierra, la agricultura y los sistemas de producción pecuarios han influido en el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, generando

How to cite: Restrepo-Betancur, L.F., Peña-Serna, C. and Martínez-González, M.F., Climate change in the city of Medellin – Colombia, throughout fifty years (1960-2010). DYNA, 86(209), pp. 312-318, April - June, 2019.

alteraciones en el clima y el aumento de la temperatura media atmosférica [1,2].

Las emisiones de GEI están directamente relacionadas con cambios notorios en el clima a gran escala, con repercusiones significativas en la temperatura del planeta, los cambios en los regímenes de precipitación, la intensidad de los huracanes, la velocidad del viento, la elevación del nivel del mar, el aumento de periodos prolongados de sequía en algunas regiones, el incremento en frecuencia, duración e intensidad de olas de calor, pérdidas potenciales de tipos específicos de ecosistemas, aumento del riesgo de daños resultantes por inundaciones, deslizamiento de suelos, aumento del riesgo de incendios de bosques, alteraciones en la dinámica de producción de alimentos e incremento de la incidencia de enfermedades originadas por vectores [1,3].

Se estima que, a finales del siglo, América latina sufrirá un incremento de temperatura entre 1°C a 6°C dependiendo de la región de evaluación. De igual manera se pronostica que entre 7 y 77 millones de personas sufrirán por estrés hídrico debido al cambio climático. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992, definió el Cambio Climático como un "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables".

En 2010 Colombia aportó 0,37% de emisiones GEI mundiales, equivalentes a 180.008 gigagramos de CO₂ eq., siendo los sectores económicos (transporte, industria de energía, industrias manufactureras y de construcción) y agrícolas (fermentación entérica y suelos agrícolas) los que aportaron el 64,5% de GEI [4-6]. De acuerdo con [7], existen datos que evidencian un cambio climático en Colombia mostrando una tendencia en la variabilidad de la precipitación anual en diferentes regiones del país.

Un ejemplo de lo anterior es el comportamiento atmosférico y climático de la ciudad de Medellín, y del Valle de Aburrá en general. Si se tienen en cuenta las condiciones biofísicas, la evolución industrial, el aumento de la población y la expansión urbana de esta región; de todas las ciudades de Colombia, Medellín, es la ciudad con un impacto ambiental significativo en su atmósfera, no solo por factores naturales como la disposición geográfica del Valle rodeado por montañas que obstaculizan la dispersión de los contaminantes atmosféricos sino que también están relacionados con los cambios socio-económicos a lo largo del tiempo. Entre los años 50 y 70 se vivieron situaciones como la transición del uso de transporte eléctrico masivo a medios de transporte masivo urbano con uso de combustible, el aumento de la población por migración debido a la industrialización y el aumento inmensurable de vehículos automotores; aspectos que, con el paso de los años, ha evolucionado según lo demanda la época. Todo esto se encuentra ligado de forma intrínseca al uso de recursos naturales que permiten satisfacer las necesidades eléctricas, de abastecimiento de agua y de combustible, terrenos para urbanización y manejo de desechos; lo cual al final, genera un impacto ambiental y social evidente como lo es el cambio climático en la ciudad.

Por ello, con el fin de determinar si todos estos procesos sociales, económicos y ambientales han influenciado el clima de la ciudad de Medellín, en este estudio se realizó un análisis estadístico de las variables climáticas correspondientes a la temperatura (media, máxima y mínima) y la humedad relativa reportadas para la ciudad de Medellín por la estación meteorológica 801100 (SKMD) durante el periodo comprendido entre 1960 y 2010. Se decidió evaluar un rango de 50 años ya que como lo indica el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), para determinar si una región presenta un cambio en su clima se debe estudiar y evaluar el comportamiento de éste por un periodo significativo de tiempo. El análisis estadístico realizado se complementó con bases teóricas de estudios que se realizaron sobre aspectos atmosféricos de la ciudad durante la época evaluada, y aunque la literatura es escasa, se revisaron documentos como Una Historia Social y Ambiental de la Contaminación atmosférica en la ciudad de Medellín durante los años setenta y el Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá 2011, los cuales presentan eventos y datos referentes al tema.

La importancia de realizar estudios sobre la variabilidad climática o cualquier aspecto ambiental y social, es el registro de información que permite ayudar a soportar y fortalecer procesos que estén involucrados con la toma de decisiones públicas y civiles, que apunten a diseñar, crear y desarrollar estrategias que estén enfocadas al manejo, control, mitigación y adaptación de las situaciones ambientales que se puedan presentar, en este caso, el cambio climático.

2. Materiales y métodos

A continuación, se describen los procedimientos establecidos para llevar a cabo el estudio.

2.1. Ubicación geográfica de la ciudad objeto de estudio

La ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia, está localizada al noroccidente de Colombia en medio de la cordillera central de los Andes, en las coordenadas 6°13'55"N 75°34'05"O (Fig. 1).

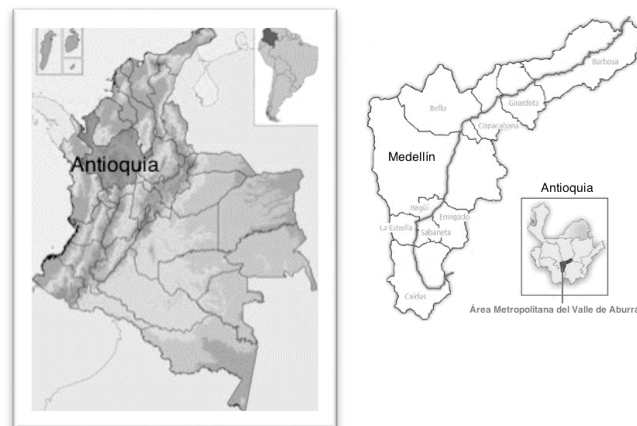


Figura 1. Localización del departamento de Antioquia (izquierda) y de Medellín dentro del área metropolitana del Valle de Aburrá (derecha). Fuente: tomado de [8,9].

La ciudad hace parte de la región metropolitana del Valle de Aburrá que está constituida por otros nueve municipios. La conformación del Valle de Aburrá es el resultado de la unidad geográfica determinada por la cuenca del río Aburrá (más conocido como río Medellín), principal corriente hídrica que recorre el Valle de sur a norte (Fig. 1 derecha). El Valle de Aburrá está enmarcado por una topografía irregular y pendiente que oscila entre 1300 y 2800 metros sobre el nivel del mar.

2.2. Variables climatológicas evaluadas

Las variables analizadas fueron temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa media (%) registrada diariamente en la ciudad de Medellín, Colombia durante 1960 y 2010. Dicha información fue obtenida de los reportes de la estación meteorológica 801100 (SKMD) ubicada en las coordenadas geográficas latitud 6,21, longitud -75,6, altitud 1490.

2.3. Análisis estadístico

Las variables temperatura media (T_m), temperatura máxima (T_{\max}), temperatura mínima (T_{\min}) y humedad relativa media (HR) reportadas diariamente por la estación meteorológica fueron analizadas mediante un Modelo Lineal General (GLM) usando la técnica MANOVA con contraste canónico ortogonal y determinando la dimensionalidad del contraste vía máxima verosimilitud. Adicionalmente, se realizó un análisis descriptivo exploratorio de tipo unidimensional con el fin de establecer la media aritmética y la desviación típica para las variables analizadas. El análisis estadístico fue realizado a través del programa estadístico de uso libre *SAS UNIVERSITY*.

2.4. Investigación bibliográfica

Se revisaron y estudiaron documentos donde se encuentran datos, información y sucesos relacionados con aspectos climáticos, contaminación atmosférica y cambios sociales y ambientales que se han dado tanto a nivel local como nacional durante el periodo de tiempo evaluado [10-14]. A pesar de que los aspectos que se presenta en la Tabla 1 y en resultados y discusión no son los únicos determinantes sobre el clima, éstos si están clasificados dentro de los aspectos que generan impactos ambientales y aportan de forma significativa al cambio climático. A su vez, dichos datos son una demostración teórica que busca apoyar los resultados expuestos en este estudio y en el cual se evidencia un aumento en la temperatura de la ciudad de Medellín.

3. Resultados

La Tabla 1 presenta aspectos ambientales y antrópicos que se relacionan con aumentos y disminuciones en las variables climatológicas evaluadas y son evidencia de un cambio climático.

Tabla 1.
Aspectos ambientales y sociales entre 1960 y 2010

Fecha	Aspecto ambiental y social	Localización
1950	Comienzan a aumentar los niveles de emisiones de dióxido de carbono en Colombia, de acuerdo con el estudio realizado por <i>Carbon Dioxide Information Analysis Center</i> (CDIAC) que usó datos de producción y consumo de carbón, crudo y petróleo en 278 regiones del mundo desde 1781 hasta 2010.	Nacional
1951	Desaparece el tranvía eléctrico como medio de transporte y se establece el uso de buses a combustible como transporte público que se comenzó a implementar en 1940.	Local
1960-2010	Incremento de la población de Medellín de 772.887 (1964) a 2.343.049 (2010), con un incremento medio de 28.000 habitantes/año.	Local
1960-2006	Se incrementaron las emisiones anuales por mil toneladas métricas de carbono en la atmosfera colombiana, pasando de 5.000 a 20.000.	Nacional
1967-1974	Los datos sobre la calidad del aire en las ciudades colombianas reportados por REDAIRE prendieron una alarma, principalmente en Medellín. Los datos mostraron que durante este periodo de tiempo Medellín excedió en 267 ocasiones los niveles establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS).	Local
1976	Ciudadanos y grupos organizados de la ciudad se dirigieron a la Alcaldía y Secretaria de Salud para presentar cartas referidas a la contaminación atmosférica. Se encontró que la mayoría de éstas fueron quejas y reclamos por la cantidad de automotores en el centro de la ciudad y la cantidad de humo y ruido que estos producían.	Local
1998	Año más caliente en el país con temperatura media de 22,85 $^{\circ}\text{C}$ entre los meses de enero y junio.	Nacional
1997	Fue el año más caliente en el país con una temperatura media de 22,85 $^{\circ}\text{C}$ entre los meses de julio a diciembre.	Nacional
1991	Año más seco.	Nacional
2000-2010	De acuerdo con el inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá realizado en 2011, las emisiones de CO, NOx y CO ₂ generadas en la ciudad por los autos a gasolina y diésel disminuyeron para 2010 debido al incremento de los vehículos a gas. No obstante, los niveles emitidos continúan siendo altos.	Local

Fuente: Los Autores.

El comportamiento de la variación de humedad relativa, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima en el periodo comprendido entre 1960 y 2010 se presenta en la Fig. 2. Es de resaltar que, al inicio de la década del 90, la temperatura media exhibió un patrón irregular que produjo un comportamiento climático anormal y que, en consecuencia, generó una crisis energética en el país.

La temperatura máxima presentó una caída promedio significativa en 1971 mientras la temperatura mínima se incrementó marcadamente en 1993.

Al evaluar de manera conjunta las variables temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa media, por medio del Modelo Lineal General mediante la técnica multidimensional MANOVA se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre décadas (Tabla 2). El análisis canónico permitió determinar que las décadas 90 y primera del 2000 se diferencian de las demás, lo que evidencia un cambio significativo en el clima de la ciudad de Medellín a partir de las dos últimas décadas.

En el análisis descriptivo unidimensional donde se contrastan las décadas para cada variable de forma individual (Tabla 2), se puede observar que la humedad relativa no presentó diferencia estadística entre las décadas 60, 70 y 80 ($p > 0,05$), sin embargo, a partir de la década del 90 se presentó un cambio en el comportamiento con una disminución significativa respecto a los 30 años anteriores (1960-1990) y volviendo a incrementarse en la primera década del 2000.

La temperatura media presentó diferencia estadística ($p < 0,05$) entre la década del 60 y las demás resaltando que dicha temperatura se incrementó a lo largo del tiempo. La temperatura media no presentó diferencia entre las décadas del 70 y 80 ($p > 0,05$), lo mismo que ocurrió entre la década del 90 y la primera del 2000. Por otro lado, en la década del 60, la temperatura máxima se diferenció estadísticamente de las demás décadas ($p < 0,05$) exhibiendo el valor más elevado del periodo con una media de 28,0 °C. Las décadas del 70, 80 y la primera del 2000 no presentaron diferencia estadística ($p > 0,05$) entre sí, mientras la década del 90 presentó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) con las demás décadas (Tabla 2).

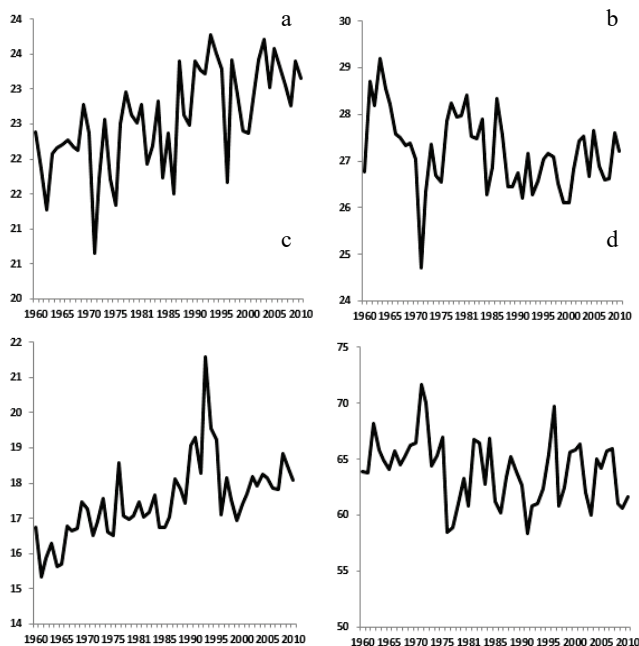


Figura 2. Dinámica de las variables climáticas temperatura media (a), temperatura máxima (b), temperatura mínima (c), humedad relativa (d) en el tiempo.

Fuente: Los Autores.

Tabla 2.

Comparación de valores medios de las variables climáticas entre décadas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa $p < 0,05$.

Década	T _m (°C)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	HR (%)
1960	22,1 c	28,0 a	16,2 d	65,3 a
1970	22,3 b	27,4 b	16,9 c	62,9 a
1980	22,4 b	27,1 b	17,3 c	63,7 a
1990	23,3 a	26,7 c	18,9 a	61,8 c
2000	23,3 a	27,2 b	18,0 a	62,6 b

Análisis multivariado de la varianza MANOVA

Prueba	Valor	P value
Wilks' Lambda	0,601549	<0,0001

Análisis canónico

Década	60	70	80	90	2000
Letra	c	c	b	a	a

Fuente: Los Autores.

Tabla 3.

Comparación de valores medios de las variables climáticas entre meses. Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa $p < 0,05$.

Mes/ Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T _m (°C)	c	c	b	d	d	c	a	b	e	f	f	e
T _{max} (°C)	c	b	a	d	d	d	b	b	d	e	e	e
T _{min} (°C)	f	e	a	a	a	b	f	c	e	e	c	c
HR (%)	f	f	e	c	c	d	g	g	d	b	a	d

Análisis multivariado de la varianza (MANOVA)

Prueba	Valor	P value
Wilks' Lambda	0,80889719	<0,0001

Fuente: Los Autores.

De igual forma, la década del 60 presentó una temperatura mínima con diferencia estadística respecto a las demás décadas ($p < 0,05$). Las décadas 70 y 80 presentaron un comportamiento similar entre si al igual que las décadas del 90 y primera del 2000. De acuerdo con el análisis unidimensional donde se compararon las variables climáticas entre décadas (Tabla 2), se pudo observar que la temperatura media y la temperatura mínima presentaron sus valores medios más altos a partir de la década del 90.

El análisis comparativo multivariado de la varianza realizado para las cuatro variables climáticas entre los meses del año durante las cinco décadas indicó que hubo diferencia altamente significativa ($p < 0,0001$) entre meses (Tabla 3). La temperatura media presentó similitud entre los meses de enero, febrero y junio ($p > 0,05$), de igual manera los meses de marzo y agosto ($p > 0,05$) presentaron un comportamiento similar, pero diferenciándose de los meses antes citados ($p < 0,05$). Abril y mayo no presentaron diferencia estadística ($p > 0,05$), lo mismo que septiembre y diciembre ($p > 0,05$) y octubre y noviembre ($p > 0,05$). No obstante, el mes de julio presentó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) con el resto de meses del año (Tabla 3).

Por su lado, la temperatura mínima en el mes de junio se diferenció de los demás meses ($p < 0,05$) mientras que dicha variable presentó un comportamiento similar entre los meses de febrero, septiembre y octubre ($p > 0,05$), el grupo de agosto,

noviembre y diciembre ($p>0,05$), enero y julio ($p>0,05$) y marzo, abril y mayo ($p>0,05$), siendo este último grupo, los meses que presentaron la temperatura mínima más alta durante el periodo comprendido entre 1960 y 2010. Según [15], la temperatura mínima más alta se exhibe en los meses de abril o mayo, lo cual está de acuerdo con lo reportado (Tabla 3). Finalmente, la humedad relativa presentó un comportamiento similar en los meses de enero y febrero diferenciándose de los demás meses del año. Lo mismo sucedió con abril y mayo; julio y agosto, y junio y diciembre ($p>0,05$). Noviembre presentó una dinámica diferente al resto de los meses durante las cinco décadas ($p<0,05$).

En la Tabla 4 se presenta la comparación entre meses del año para cada década. De acuerdo con los resultados, se pudo observar que la temperatura media presentó un cambio en su comportamiento, exhibiendo un incremento en la temperatura a partir de la década del 90 en los meses de enero, febrero, mayo, junio, agosto, octubre y noviembre, mientras que los meses de marzo y septiembre mostraron el cambio solo a partir de la primera década del 2000 y los meses de julio y diciembre exhibieron una temperatura media similar durante las cinco décadas.

Tabla 4.

Comparación por mes de valores medios de las variables climáticas durante las cinco décadas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa $p<0,05$.

		Temperatura media (T_m)											
Mes/ Década	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
60	c	c	b	c	b	d	a	c	b	b	b	a	
70	c	b	b	b	b	c	a	c	b	b	b	a	
80	c	c	b	b	b	c	a	c	b	b	b	a	
90	b	a	b	b	a	a	a	a	b	a	a	a	
2000	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	
		Temperatura máxima (T_{max})											
Mes/ Década	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
60	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	
70	b	b	a	a	b	a	b	a	b	a	a	b	
80	b	c	a	a	b	a	b	a	b	a	a	b	
90	c	c	b	a	b	a	c	a	b	a	a	b	
2000	b	b	a	a	b	a	c	a	b	a	a	b	
		Temperatura mínima (T_{min})											
Mes/ Década	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
60	c	c	d	c	d	d	d	d	c	c	c	a	
70	b	b	c	b	d	c	d	c	c	b	b	b	
80	b	b	c	b	c	b	c	b	b	b	b	b	
90	a	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	b	
2000	a	a	b	b	b	b	b	b	a	b	b	b	
		Humedad relativa (HR)											
Mes/ Década	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
60	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
70	b	a	b	b	b	b	a	a	a	a	a	a	
80	a	a	b	b	b	c	a	a	a	a	b	a	
90	a	a	a	a	c	c	a	b	a	b	b	a	
2000	b	a	b	b	c	b	a	a	a	a	b	a	

Fuente: Los Autores.

De otro lado, los meses de junio, agosto, octubre y noviembre no exhibieron variación ($p>0,05$) de la temperatura máxima y, adicionalmente fueron los meses que presentaron la temperatura máxima más alta durante las cinco décadas. Los demás meses presentaron algunas variaciones tal como se aprecia en la Tabla 4.

La temperatura mínima presentó diferencia significativa ($p<0,05$) a partir de la década del 90 para los meses de enero, febrero, marzo, mayo y julio. Junio, agosto y septiembre presentaron diferencia estadística significativa ($p<0,05$) a partir de la década del 80 mientras que abril, octubre, noviembre y diciembre exhibieron diferencia estadística a partir de la década del 70. Finalmente, la humedad relativa no exhibió diferencias estadísticas ($p>0,05$) en los meses de febrero, julio, septiembre y diciembre durante las cinco décadas, sin embargo, los demás meses presentaron algunos cambios (Tabla 4).

4. Discusión

Las ciudades generan un fuerte impacto sobre el cambio climático debido a la alta densidad poblacional urbana. El acelerado incremento de la temperatura atmosférica ha sido consecuencia de la producción de CO_2 generado por el consumo de energía. Según [1,14,16], las ciudades consumen entre 60 y 80% de la energía mundial.

El aumento de la temperatura de la superficie es debido a la producción de GEI como el dióxido de carbono. Estos gases reducen la pérdida de radiación infrarroja hacia el espacio y, por tanto, el calor se acumula en la atmósfera causando un crecimiento de la temperatura [1,16]. De acuerdo con lo anterior, existe una relación entre la forma de vida de los habitantes de las ciudades y la variación de la temperatura atmosférica.

Colombia es un país de carácter principalmente urbano, donde más del 70% de la población se concentra en las ciudades. La ciudad de Medellín ubicada en el departamento de Antioquia es después de la capital del país, Bogotá, la ciudad más poblada con una concentración urbana cercana a 2,5 millones de habitantes. De acuerdo con [17], el área metropolitana del Valle de Aburrá donde se encuentra ubicada la ciudad de Medellín, presentó un consumo de energía cercano a los 5000 GWh en 2011 de los cuales el 44% fue por uso residencial, 23% por uso comercial y 24% por uso industrial.

Como se observó en el análisis estadístico, el incremento en la temperatura de Medellín podría ser una consecuencia de la mayor concentración de habitantes y la mayor cantidad de automóviles circulando por la ciudad, lo que a su vez implica mayor consumo de energía, y, por ende, mayor producción de GEI.

Según el informe de Calidad de Vida en Medellín 2014, el número de vehículos que circulan por la ciudad se ha incrementado por encima del 43%, pasando de 700.000 a 1.243.946 vehículos entre 2007 y 2014. Esto indica que, en la actualidad, hay más de cinco vehículos por cada 10 habitantes de la ciudad [18]. El aumento en la cantidad de vehículos movilizándose por la ciudad tiene un efecto directamente proporcional sobre el incremento de las emisiones de GEI y, en consecuencia, sobre el aumento de la

temperatura media, máxima y mínima mostrado en el análisis descriptivo (Tabla 2). A pesar de lo anterior, es importante resaltar que para 2016, Medellín fue la primera ciudad de Colombia con mayor inversión en transporte público. Durante los últimos tres años, la inversión en este sector se ha dirigido principalmente a los sistemas de transporte masivo. Al día de hoy, la infraestructura de transporte masivo del área metropolitana del Valle de Aburrá, denominado Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá-SITVA, que cubre las 10 ciudades del área metropolitana, incluyendo Medellín, está conformado por metro, metrocable (teleférico), metrolús (bus con vías preferenciales), tranvía de Ayacucho y encicla (Sistema de bicicletas públicas del Valle de Aburrá). Este último es un sistema de préstamo de bicicletas gratuito con 51 estaciones distribuidas por toda la ciudad donde la población puede acceder a un medio de transporte no motorizado con más de 78 km de ciclorrutas a lo largo del área metropolitana [19].

En adición, el crecimiento poblacional de la ciudad de Medellín también ha generado un efecto sobre el tratamiento y manejo de residuos domésticos y comerciales que generan emisiones GEI y, por tanto, un impacto sobre el cambio climático. Según el informe del perfil sociodemográfico 2005-2015 realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Alcaldía de Medellín, la población de la ciudad ha crecido 27,2% pasando de 1.793.491 habitantes en 1993 a 2.464.322 habitantes en 2015 [20]. Esto implica que mayor número de personas tanto desde sus hogares como desde su lugar de trabajo o estudio generan mayor cantidad de residuos que deben ser tratados, como es el caso de la disposición de residuos sólidos en tierra o el tratamiento de aguas residuales. De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) realizado en 2004, el tratamiento de residuos representó el 5,71% de las emisiones totales de GEI nacionales [21].

El incremento de las emisiones de GEI no solo tienen un efecto negativo en el cambio climático de la ciudad y del mundo, sino que también presenta un efecto negativo sobre el aumento de enfermedades cardiopulmonares, infecciones respiratorias agudas y cáncer, lo que finalmente genera una mayor tasa de mortalidad como consecuencia de la contaminación del aire por GEI y material particulado. De acuerdo con [13], en Colombia se registraron cerca de 3.500 muertes causadas por contaminación en 2004 y 5.000 en 2008.

[12] reportó que los años más calientes se presentaron a partir de 1997. Las temperaturas medias globales más altas estuvieron entre las décadas del 90 y la primera del 2000, lo que está de acuerdo con lo reportado en el presente estudio.

Los valores reportados para T_m de la ciudad de Medellín (Tabla 2) en comparación con los valores medios de T_m reportada para Colombia por [12] muestra que, durante las cinco décadas, T_m de Medellín estuvo por encima de T_m de Colombia, siendo que entre las décadas del 60 y 90 la diferencia estuvo por debajo de 0,89°C mientras que en los últimos 20 años presentaron una diferencia por encima de 1°C. Con base en lo anterior, se puede demostrar que, a partir de 1990, la temperatura de Colombia, y especialmente, la de la ciudad de Medellín, se incrementaron considerablemente,

en parte como consecuencia de la mayor producción de emisiones de GEI.

Según [12,15,22], el comportamiento de las temperaturas media, máxima y mínima tiene una estrecha relación con la ocurrencia del fenómeno de El Niño y La Niña. Durante el periodo comprendido entre 1960 y 2010, ocho de los diez años más calientes en Colombia estuvieron bajo la influencia del fenómeno de El Niño [12].

El incremento de la temperatura en la ciudad de Medellín ha generado un creciente uso de aire acondicionado en las viviendas [23-25]. Por ejemplo, en 2009 las viviendas del sector socio-económico de bajos recursos no tenían instalado ningún equipo para acondicionamiento de aire. Sin embargo, en los años posteriores (2010 y 2013), este mismo sector reportó más de 50 viviendas con equipos instalados. Teniendo en cuenta que gran parte de la población de este sector socio-económico no consigue cubrir sus necesidades primarias, la instalación de un aire acondicionado en la vivienda es un lujo más que una necesidad. Lo anterior pone de manifiesto que los habitantes de la ciudad de Medellín comienzan a sentir una creciente incomodidad como consecuencia del aumento de la temperatura de la ciudad. De una parte, el aire acondicionado genera bienestar a la población ya que le permite soportar las altas temperaturas, no obstante, su uso implica un mayor consumo de energía lo que en consecuencia incrementa las emisiones de GEI y, por tanto, repercute en el cambio climático que ya se viene presentando en la ciudad.

5. Conclusiones

Se evaluó el comportamiento de la temperatura (mínima, media, máxima) y la humedad relativa durante cinco décadas (1960-2010). El análisis realizado permitió establecer un incremento promedio de la temperatura media de 0,8°C, de 1,3°C para la temperatura mínima y de 0,5°C para la temperatura máxima mientras la humedad relativa presentó una tendencia a disminuir en promedio 2,3% al comparar el último valor reportado (2010) con respecto al primero (1960). Con base en estos resultados y la información recopilada, se pudo establecer que la ciudad de Medellín ha sufrido un cambio climático en el cual han influenciado y aportado de forma significativa las actividades antrópicas como i) crecimiento del número de vehículos que circulan por la ciudad y que son los principales generadores de GEI, ii) incremento de la población, la expansión territorial (urbanismo) y iii) la industrialización. En la actualidad, dichos aspectos continúan generando gran demanda de recursos naturales, poniendo en riesgo el incremento del cambio climático. Este estudio es una evidencia más de que debemos tomar acciones inmediatas desde las políticas públicas y el accionar cívico que permitan desarrollar medidas que se enfoquen a la mitigación y adaptación al cambio climático como una estrategia para la calidad de vida y el desarrollo sostenible.

Referencias

- [1] CORANTIOQUIA. Cambio Climático: ¿Una caja de Pandora?. Punto tres Ed., Medellín, 2008.
- [2] IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change

- 2014: synthesis report. In: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. , IPCC, Geneva, Italy, 2014.
- [3] Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Informe ambiental anual 2013. Buenos Aires: Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2013.
- [4] IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Capítulo 1: visión general del inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero 2000-2004, IDEAM, Bogotá, Colombia, 2009, pp. 1-52.
- [5] Primavesi, O., Shiraiishi, F.R.T., Dos Santos, P.M., de Aparecida, L.M., Teresinha, B.T. y Franklin, B.P. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 39(3), pp. 277-283, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000300011
- [6] Carmona, J.C., Bolívar, M.D. y Giraldo, A.L., El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo [en línea]. 18(1), 2005. [Fecha de consulta: junio 20 de 2015]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- [7] IDEAM. Segunda comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Editorial Scripto Ltda., Bogotá, 2010.
- [8] Acuarela del Mundo. Antioquia, Colombia. [en línea]. Disponible en: <https://acuareladelmundo.com/2009/12/25/antioquia-colombia/>
- [9] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. [en línea]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co>
- [10] Sierra-Márquez, D., Una historia social y ambiental de la contaminación atmosférica en la ciudad de Medellín durante los años setenta, Monografía de pregrado, Departamento de Historia, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2014.
- [11] Restrepo-Orozco, H.I., Moreno, H.F., Hoyos, E.C.H., Incidencia del deterioro progresivo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá, Colombia. Colombia Forestal, 18(2), pp. 225-240, 2015. DOI: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a04
- [12] Benavides-Ballesteros, H.O. y Rocha-Enciso, C.E., Indicadores que manifiestan cambios en el sistema climático de Colombia (años y décadas más calientes y las más y menos lluviosas). Subdirección de meteorología, IDEAM, Bogotá, 2012, 26 P.
- [13] Green, J., Sánchez, S., La calidad del aire en América Latina: una visión panorámica. Clean Air Institute, Washington D.C., 2013, 36 P.
- [14] Fedesarrollo, Fundación Ciudad Humana, Instituto para la Investigación y Debate sobre la Gobernanza-IRG, Ciudades y cambio climático en Colombia. Fedesarrollo, Bogotá, 2013, 193 P.
- [15] Hurtado, G., Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura mínima media para las regiones hidroclimáticas de Colombia. IDEAM, Bogotá, 2013, 52 P.
- [16] Benavides-Ballesteros, H.O. y León-Aristizabal, G.E., Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático, IDEAM, Bogotá, 2007, 102 P.
- [17] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2013.
- [18] Alcaldía de Medellín, Informe de calidad de vida, Medellín 2014: Movilidad y espacio público. Pregón S.A.S., Medellín, Colombia, 2015, 16 P.
- [19] Alcaldía de Medellín, Informe de calidad de vida Medellín 2016: Movilidad y espacio público. Pregón S.A.S., Medellín, Colombia, 2017, 16 P.
- [20] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Alcaldía de Medellín, Perfil sociodemográfico 2005-2015: total Medellín. Dirección de Censos y Demografía, Dirección de Geoestadística, Subdirección Metroinformación, Medellín, Colombia, 2015, 16 P.
- [21] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera comunicación nacional de cambio climático de Colombia. Acierto Creativo ACPC publicidad, 2004.
- [22] Hurtado, G., Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura máxima media para las regiones hidroclimáticas de Colombia, IDEAM, Bogotá, 2013, 61 P.
- [23] Departamento Administrativo de Planeación, Encuesta de calidad de

vida Medellín 2009, Alcaldía de Medellín, Medellín, 2010, 529 P.

- [24] Departamento Administrativo de Planeación, Encuesta de calidad de vida Medellín 2010, Alcaldía de Medellín, Medellín, 2011, 95 P.
- [25] Medellín como vamos, Encuesta de calidad de vida Medellín 2013, Pregón S.A.S., Medellín, 2014, 163 P.

C. Peña-Serna, es Ing. de Procesos de la Universidad EAFIT, Colombia, en 2005, MSc. en Ciencias-Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín en 2008 y Dra. en Ingeniería y Ciencia de Alimentos de la Universidad Estatal de Sao Paulo, Brasil en 2015. Actualmente es profesora asistente en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, Colombia y trabaja en las áreas de biotecnología industrial, química y bioquímica, ciencias ambientales y ciencia y tecnología de alimentos.
ORCID: 0000-0002-8008-005X

M.F. Martínez-González, es Ing. Ambiental de la Universidad Católica de Manizales, Colombia, en 2007. Tiene experiencia en trabajo de campo, trabajo con comunidades, elaboración de proyectos, sistemas de gestión ambiental y de calidad y es docente tallerista en instituciones educativas rurales y urbanas en el departamento de Nariño.
ORCID: 0000-0001-6186-5508

L.F. Restrepo-Betancur, es Estadístico de la Universidad de Medellín, Colombia en 1984, Esp. en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá en 1996 y Esp. en Biomatemática de la Universidad del Quindío, Colombia en 1999. Actualmente es profesor titular en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, trabaja en el área de diseño de experimentos y bioestadística y es asesor estadístico de trabajos de investigación científica para entes públicos y privados.
ORCID: 0000-0002-8583-5028



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Medio Ambiente

Oferta de Posgrados

Doctorado en Ingeniería - Recursos Hidráulicos

Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos

Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo

Especialización en Aprovechamiento de

Recursos Hidráulicos

Especialización en Gestión Ambiental

Mayor información:

E-mail: acma_med@unal.edu.co

Teléfono: (57-4) 425 5105