

RELACIÓN DIRECTA ENTRE EL AUMENTO DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES CON EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y EL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB) EN EL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA

A CLEAR-CUT DIRECT RELATIONSHIP BETWEEN THE INCREASE OF MEAN ANNUAL TEMPERATURE WITH POPULATION AND GROSS DOMESTIC PRODUCT (GDP) IN THE ABURRÁ VALLEY, COLOMBIA

LUIS ALEJANDRO BUILES JARAMILLO*, GERMÁN POVEDA JARAMILLO*

RESUMEN

Se estudian las relaciones existentes entre el crecimiento de la población y la economía en el Valle de Aburrá con el cambio climático y los efectos de «isla de calor» de centros urbanos. Se analizan las tendencias simultáneas de las series anuales de población y producto interno bruto (PIB). Se cuantifica la correlación entre éstas con las series de temperatura media anual en el Valle de Aburrá, que incluye la ciudad de Medellín y otros nueve municipios. Los resultados permiten concluir que la serie de temperatura promedio anual exhibe una tendencia creciente de 0.058°C por año, variando entre 21°C y 22.5°C durante el período 1964-1994, lo cual confirma la evidencia de calentamiento en zonas urbanas debidas al cambio climático global, aunado al efecto de «isla de calor» proveniente del crecimiento de la población y de las actividades antrópicas. Los ajustes encontrados entre la temperatura y el PIB presentan alta correlación ($R^2=0.601$, $p>0.95$), así como el ajuste entre la temperatura y la población ($R^2=0.598$, $p>0.95$), lo cual permite concluir la significancia estadística de la dependencia lineal entre el crecimiento de la población y el incremento de la actividad económica en el Valle de Aburrá y las tendencias crecientes de la temperatura. Se plantea que el PIB es un indicador inadecuado del desarrollo económico, que no cuantifica los daños ambientales que conducen a una menor calidad de vida, pues sólo representa las transacciones monetarias de la economía, y no considera las externalidades ambientales asociadas con el crecimiento económico.

Palabras clave: Temperatura; Urbanización, Tendencias; Producto interno bruto; Valle de Aburrá.

ABSTRACT

A trend analysis is carried out for historical annual series of mean temperature, population, and Gross Domestic Product (GDP), with the purpose of quantifying the «island heat effect» of associated with economic development in the Aburrá Valley, which includes the city of Medellín and nine surrounding municipalities. Our results evidence an increasing trend in mean annual temperature of 0.058°C per year, varying between 21°C and 22.5°C, during the period spanning 1964-1994, which confirms the warming effect of urban areas not only due to global warming but also to the island heat effect from anthropogenic activities. The fitting between temperature and GDP data shows strong correlation ($R^2=0.601$, $p>0.95$) and that between temperature and population ($R^2=0.598$, $p>0.95$), which allow us to conclude the statistical significance of the linear association between temperature increase and human related activity represented by economic and population growth in the Aburrá Valley. The inadequacy of the GDP as an honest index of economic development is pointed out, since it does not quantify environmental damages and impacts that lessen the quality of life; since it only represents monetary transactions within the economy, and thus it does not consider environmental externalities associated with economic growth.

Keywords: Temperature; Urbanization; Trends; Gross domestic product; Aburrá Valley.

INTRODUCCIÓN

El interés por la influencia de la urbanización y el crecimiento de las poblaciones en el clima local ha sido materia de estudio desde hace más de 120 años,

cuando el químico Luke Howard en su libro «El Clima de Londres» dice que las ciudades parecen ser más calientes que sus alrededores rurales (Roth, 2002). Este efecto descrito en 1883 ocasionado por el crecimiento de las zonas urbanas, es conocido

* Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. e-mail: labuiles@unal.edu.co
gpoveda@unal.edu.co

Fecha de recibido: Junio 11, 2008

Fecha de aprobación: Septiembre 26, 2008

como el efecto isla de calor (urban heat island effect) y está descrito como la diferencia entre la temperatura en el centro urbano y la temperatura en sus zonas rurales circundantes.

Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) la temperatura superficial tiene una tendencia lineal de aumento de 0.75°C desde 1905 hasta la fecha. En este reporte también se menciona el efecto isla de calor urbano, como un efecto real, local, pero despreciable en el contexto planetario, aportando al aumento de la temperatura global aproximadamente 0.0006°C por década en superficie, y 0°C sobre los océanos.

Este cambio en la temperatura superficial de las zonas urbanas tiene influencia no sólo en diferentes variables climáticas como la humedad, la precipitación y la dinámica de los vientos sino también en variables asociadas con las dinámicas de la población como el aumento de enfermedades como la malaria y el incremento de la demanda de recursos como el agua y la electricidad.

En Colombia casi 75% de la población habita en centros urbanos, y el Valle de Aburrá con una población de casi 3'500.000 habitantes, se convierte de esta manera en el segundo centro urbano más grande del país después de Santa Fe de Bogotá. Se intenta en este trabajo encontrar una relación entre las tendencias de la temperatura para el Valle de Aburrá y las diferentes series que representan el crecimiento de la urbanización en la región (población, producto interno bruto y parque automotor).

METODOLOGÍA

Para la detección de tendencias y cambios en la media y cambios en la varianza de las series de temperatura escogidas para el análisis se emplearon dos aproximaciones, un análisis exploratorio y un análisis confirmatorio.

El análisis exploratorio se lleva a cabo mediante el

cálculo de los parámetros estadísticos de las series y el estudio de los gráficos de las series de tiempo. El estudio confirmatorio se hace con el objeto de probar mediante la estadística algún tipo de característica en las series de tiempo; para este análisis se empleo el Software HidroSIG desarrollado por el Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional (PARH), especialmente su herramienta ANSET (Ceballos y Góez, 2003) para el análisis de series de tiempo.

Las pruebas estadísticas empleadas para la detección de cambios y tendencias en la media de las series anuales de temperatura fueron la prueba de Mann-Withney, la prueba T simple, la prueba del signo y la prueba T modificada para el cambio, la prueba T para tendencias lineales, la prueba de Hotelling-Pabst, la prueba de Mann-Kendall y la prueba de Sen para la tendencia. Para la detección de cambios en la varianza se emplearon las pruebas F simple y F modificada.

Luego se hace un análisis de correlaciones simples y correlaciones múltiples, con el Software Microsoft Excel, entre la temperatura y las variables que representan el crecimiento de la urbanización en el Valle de Aburrá.

1. Zona de estudio e información. El Valle de Aburrá está localizado en la zona centro-sur del departamento de Antioquia, cruzado de sur a norte por el río Medellín. Es una región que alberga 56% de la población del departamento y ostenta el mayor desarrollo económico. El Valle tiene una extensión total de 1.152 km^2 , 340 km^2 de área urbana y 812 km^2 de área rural, donde se asienta una población de aproximadamente tres millones y medio de habitantes distribuidos 95% en la zona urbana y 5% en la zona rural.

El área metropolitana del Valle de Aburrá está conformada por 10 municipios, Medellín, Caldas, Itagüí, Sabaneta, La Estrella, Envigado, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. El Valle de Aburrá apor-

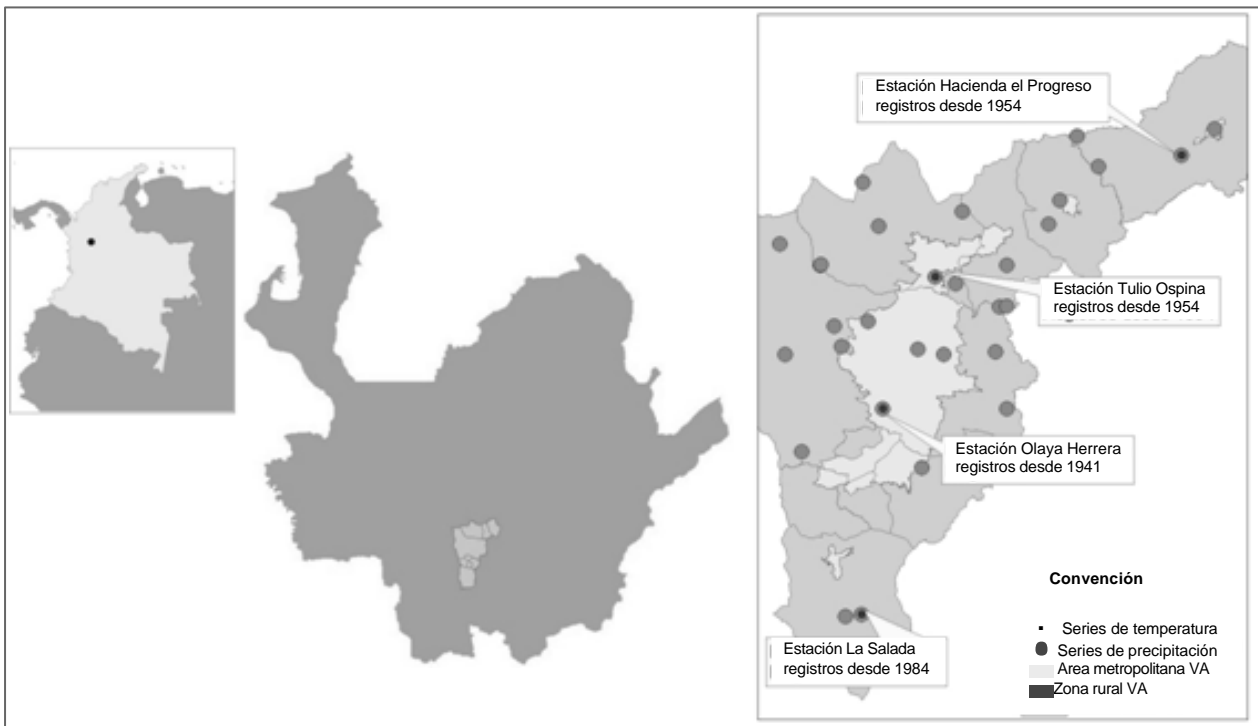


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en Colombia (izquierda), y ubicación en el Valle de Aburrá de las estaciones de medición (derecha). Se presenta de manera explícita la longitud de los registros en las 4 estaciones de donde se obtuvieron datos de medición de temperatura.

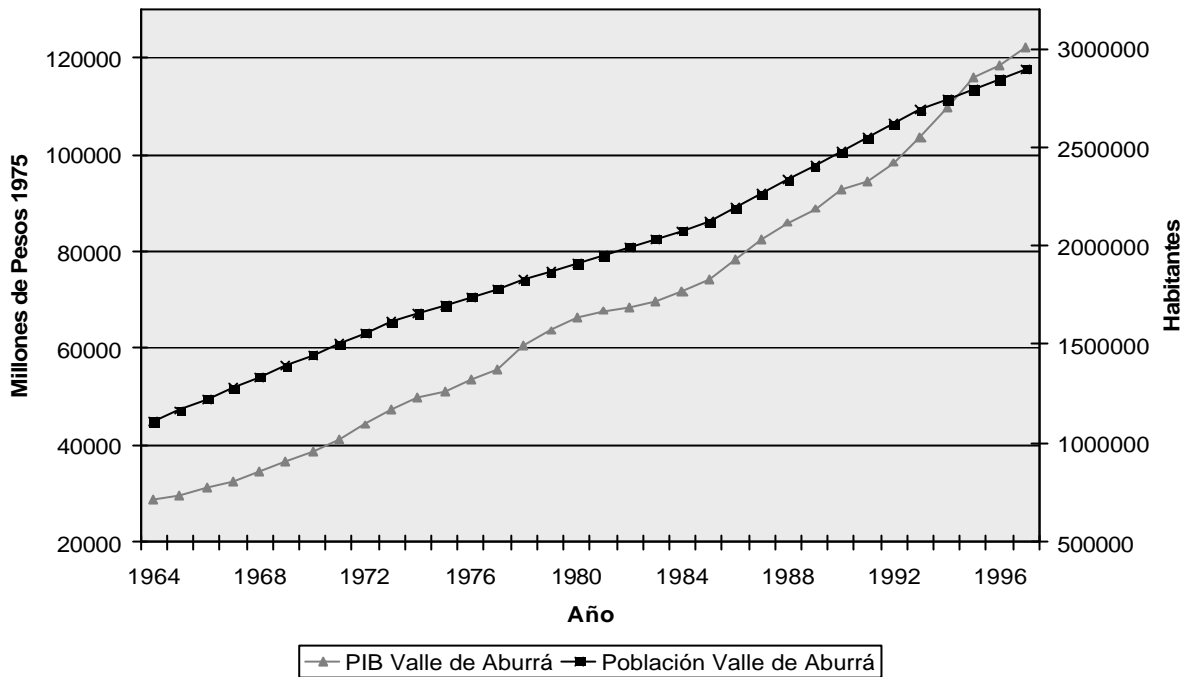
ta aproximadamente 90% del PIB departamental, que a su vez representa 14% del PIB nacional convirtiéndose en el segundo centro urbano de Colombia y en un foco de industrialización y urbanización (Schnitter, 2005).

La información para el análisis de tendencias es tomada de 4 series anuales de temperatura para las estaciones del Valle de Aburrá pertenecientes al IDEAM y empleadas en el estudio RedRio Fase II. A continuación se muestra el listado de estaciones y la longitud de los registros para cada una.

De las cuatro estaciones de temperatura se hace el análisis de detección de tendencias sólo para las estaciones de Tulio Ospina y Olaya Herrera que presentan la mayor cantidad de registros continuos. Los datos de la estación La Salada y la Hacienda el Progreso presentan menos de 15 años continuos de medición, por lo que no se emplean para el análisis (Figura 1).

La información histórica de PIB se toma de las estadísticas nacionales del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2007) en las cuales se tienen registros desde 1925 para todo el país. Las series históricas de población se toman de los reportes nacionales hechos por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2007) para los censos poblacionales de los años 1964, 1973, 1985, 1993 y 2005.

La información correspondiente al crecimiento del parque automotor es tomada del Anuario Estadístico del departamento de Antioquia para el año 2005, en el cual se presentan las cifras de número de vehículos matriculados en las diferentes secretarías de transportes y tránsito de los 10 municipios del Valle de Aburrá desde el año 1986. Como el parque automotor sólo está entre los años 1986 y 1995 en común con las series de temperatura, esta variable no se incluye en el análisis de regresión (Gráfica 1).



Gráfica 1. Crecimiento de las series de PIB y población en el Valle de Aburrá desde el año 1964 hasta 1997.

RESULTADOS

Se presentan en esta sección los resultados del análisis de las series de tiempo y el análisis de correlaciones entre las series de temperatura, del PIB y las series de población.

Para las series de temperatura se presentan primero los resultados del análisis exploratorio. Para este análisis se grafican las series de temperatura tanto para un año calendario (de enero a diciembre) como para un año hidrológico (de junio a mayo) de manera que se pueda ver con mayor exactitud la variación de los picos debidos a la acción del fenómeno ENSO en su fase calida o en su fase fría (NOAA, 2007) (Gráficas 2 a 5).

Del análisis exploratorio se ve cómo la serie de la estación Olaya Herrera presenta una marcada tendencia decreciente desde 1941 hasta aproximadamente el año 1976 donde cambia de forma abrupta y se convierte en una tendencia creciente. La serie de la estación Tulio Ospina presenta un comportamiento estable desde el año 1954 hasta 1976 don-

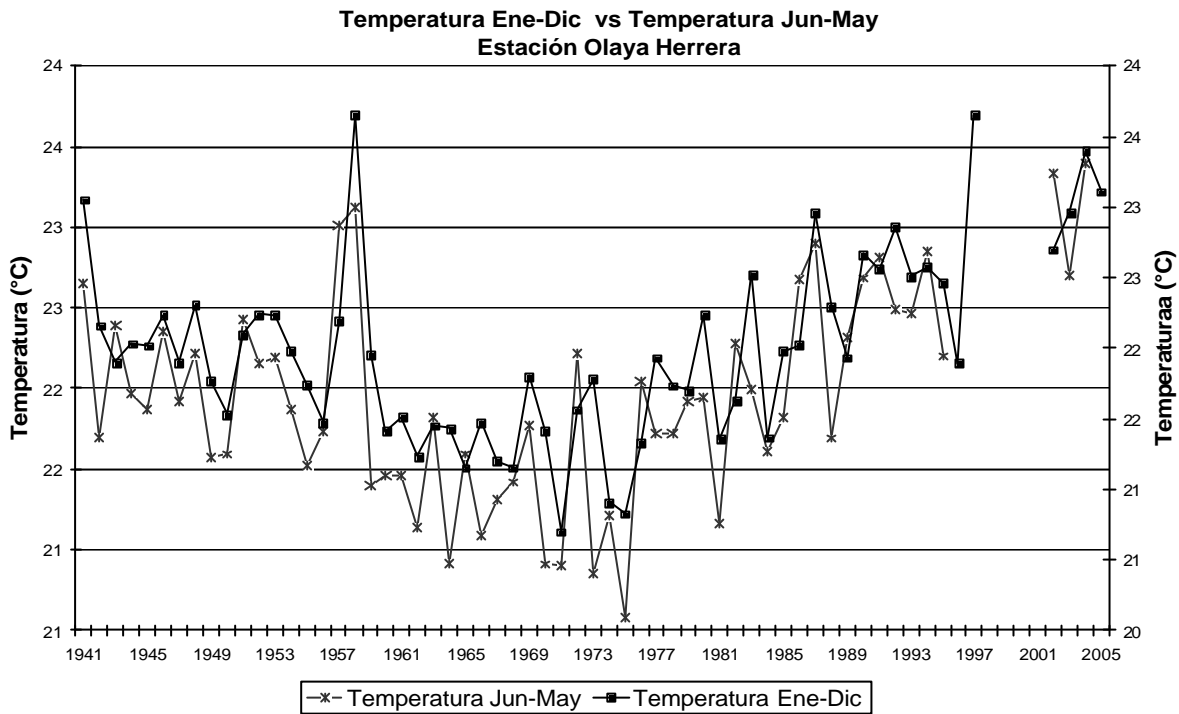
de aparece también una clara tendencia creciente.

De las pruebas para el análisis comprobatorio de cambios en el comportamiento de las series, se encuentra que para ambas series de temperatura las pruebas estadísticas confirman la presencia de tendencias crecientes y cambios en la media.

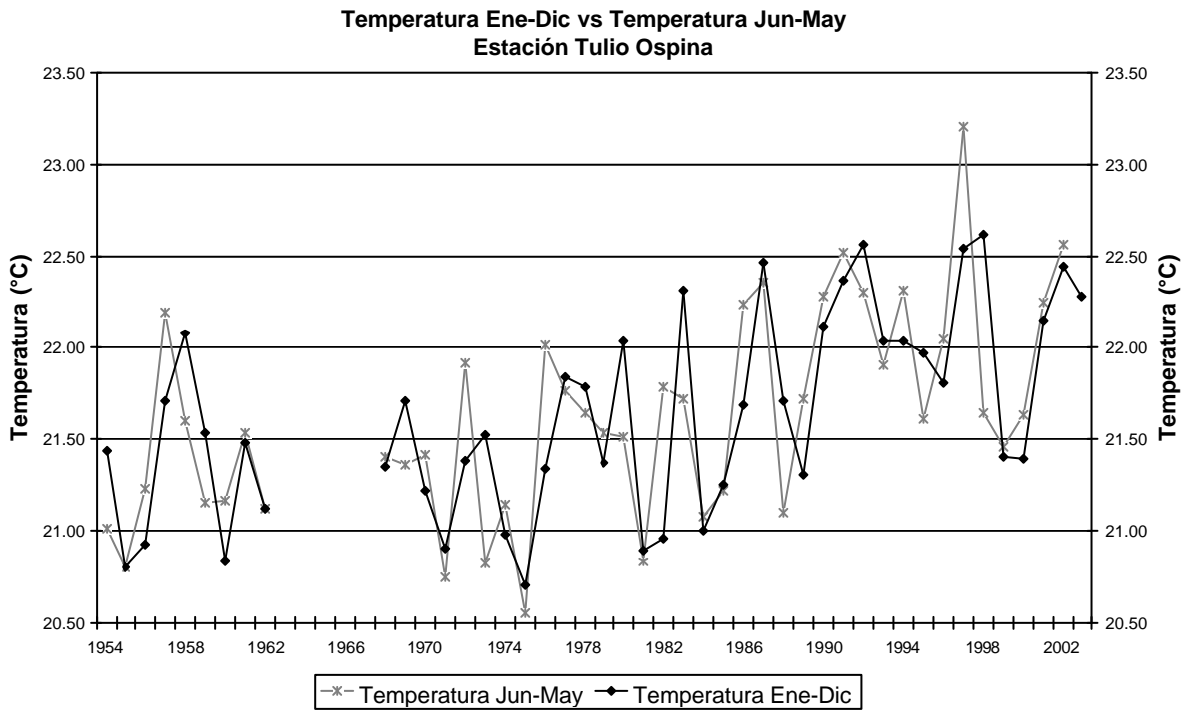
En las Gráficas 4 y 5 se observa cómo al graficar la serie para el año hidrológico es posible hacer una detección de eventos ENSO de mayor intensidad como los presentados en los años 1988 y 1997.

Debido a que a las series de crecimiento de la población y crecimiento del PIB para el Valle de Aburrá tienen registros comunes desde 1964, se hace un análisis de tendencias lineales con las series de temperatura en las estaciones Olaya Herrera y Tulio Ospina para conocer el aumento de la temperatura desde mediados de los años sesenta.

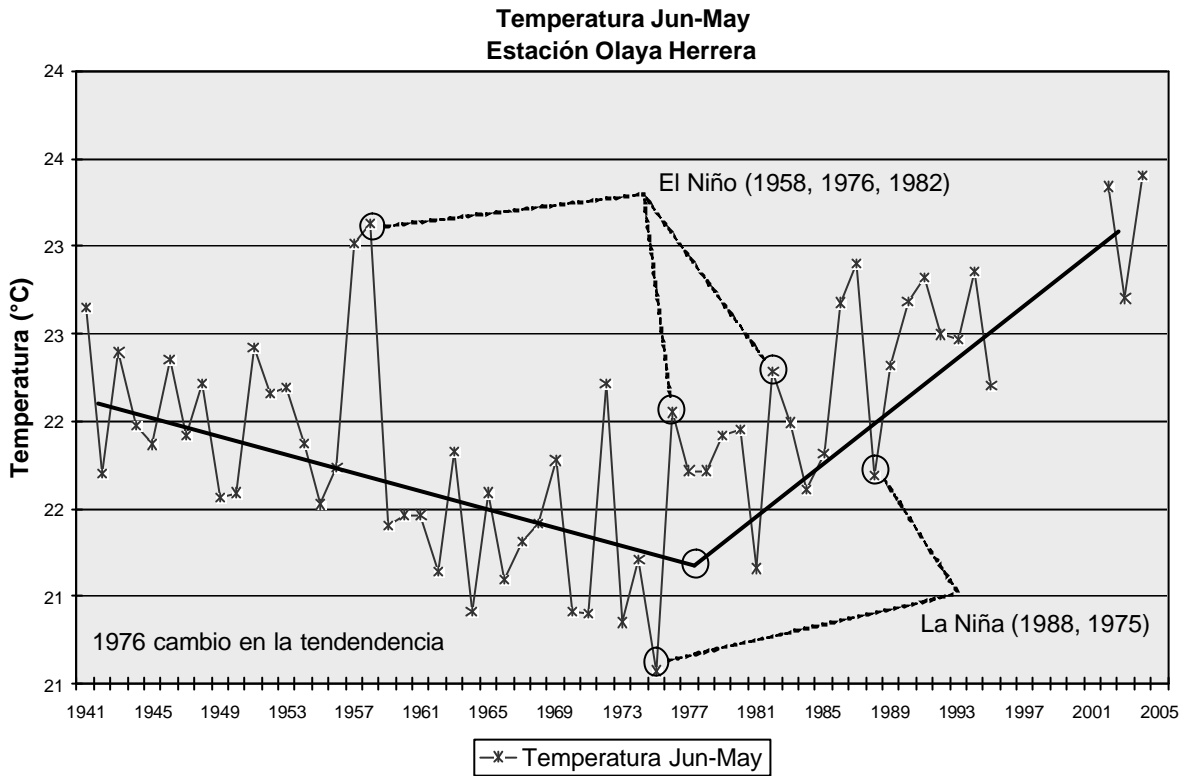
En la Gráfica 6 se puede ver como en la estación Olaya Herrera hay una tendencia lineal de aumento en la temperatura de aproximadamente 1.5°C des-



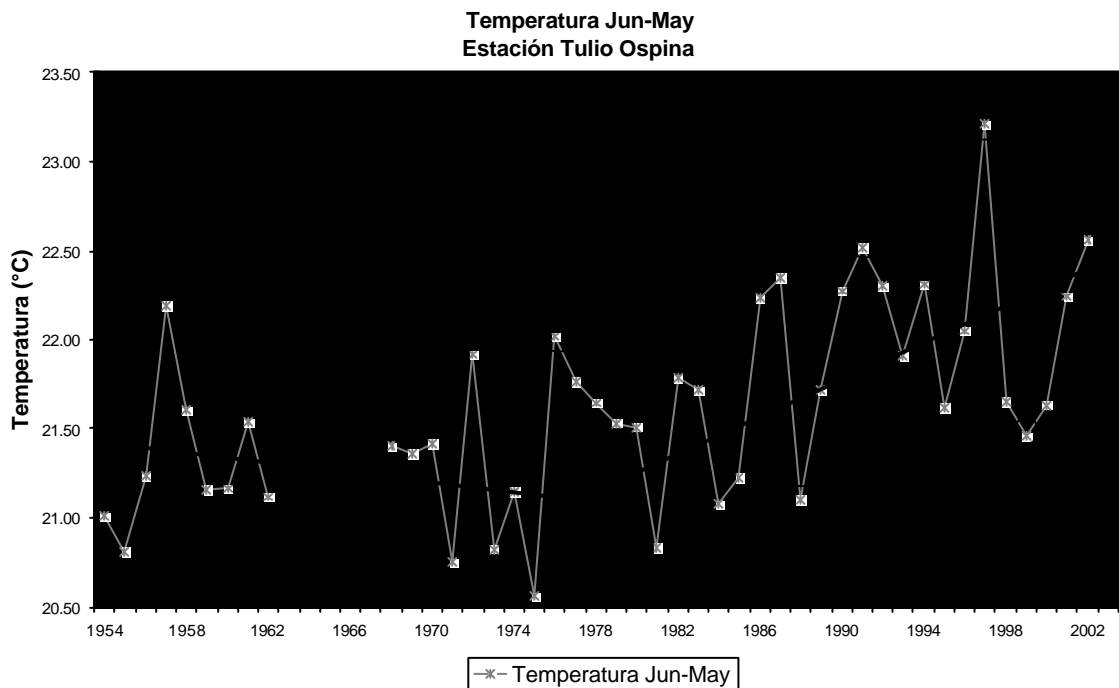
Gráfica 2. Temperatura media anual para la estación Olaya Herrera en el municipio de Medellín (1941-2003). La línea con puntos negros representa el año calendario y la línea con asteriscos el año hidrológico.



Gráfica 3. Temperatura media anual para la estación Tulio Ospina en el municipio de Bello (1954-2003). La línea con puntos negros representa el año calendario, y la línea con asteriscos el año hidrológico.

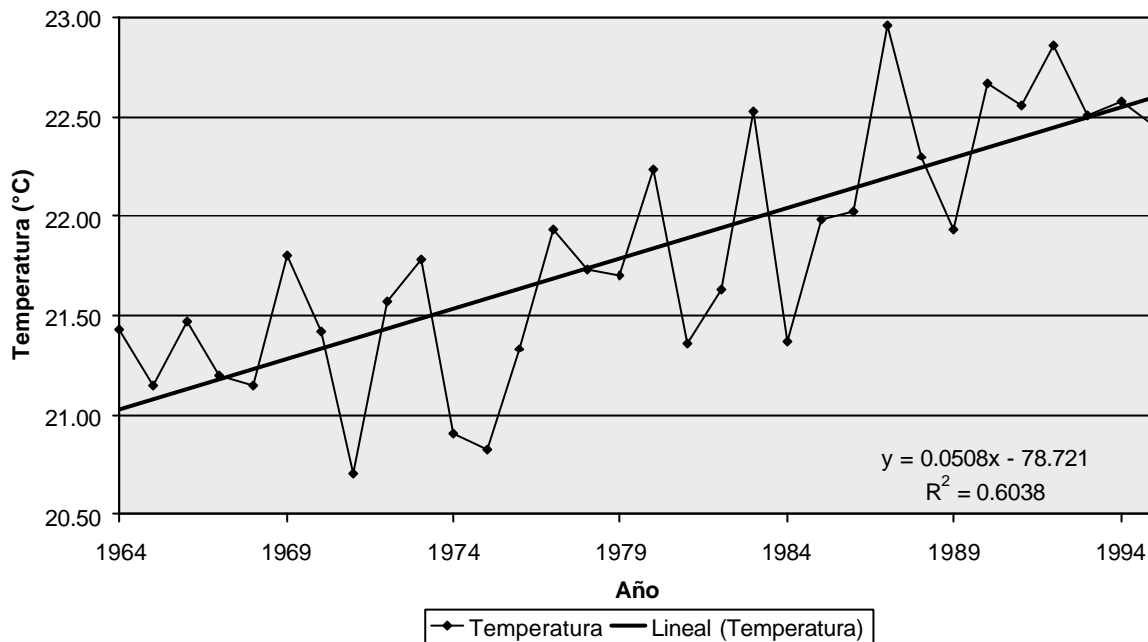


Gráfica 4. Análisis gráfico de las tendencias en la temperatura en la estación Olaya Herrera (gráfica en año hidrológico). Se ve la detección de años con presencia de fenómeno ENSO en su fase cálida y fría, El Niño y La Niña respectivamente.



Gráfica 5. Análisis de las tendencias en la temperatura en la estación Tulio Ospina (gráfica en año hidrológico). Se ve la detección de años con presencia de fenómeno ENSO en su fase cálida y fría, El Niño y La Niña respectivamente.

Temperatura desde 1964 en el Aeropuerto Olaya Herrera



Gráfica 6. Temperatura media anual para la estación Olaya Herrera desde el año 1964; se presenta la ecuación de tendencia lineal.

de 1964. En la Gráfica 7 se ve que en la estación Tulio Ospina el aumento de la temperatura es de aproximadamente 0.95°C desde el año 1968.

Tomando la serie de temperatura de la estación Olaya Herrera, la más central en la zona de estudio (Figura 1) y la que presenta el mayor aumento en la temperatura, se hacen las pruebas de correlación con las variables que representan el crecimiento de las acciones antrópicas en el Valle de Aburrá (PIB y población).

Del análisis de correlación entre la serie de temperatura en la estación Olaya Herrera y las series de PIB y población se presentan primero los resultados obtenidos para las pruebas de correlación simple entre dos variables. Luego se presentan los resultados de correlación entre la temperatura, PIB y población de manera simultánea (Gráficas 8 y 9).

Relación entre la temperatura, el PIB y la población encontradas en el análisis de regresión:

$$T = 1.8768 \times 10^{-5} \text{ Pib} + 20.59 \quad R^2 = 0.601$$

$$T = 9.8335 \times 10^{-7} \text{ Pob} + 19.93 \quad R^2 = 0.598$$

$$T = 2.324 \times 10^{-5} \text{ Pob} - 2.36 \times 10^{-7} \text{ Pib} + 20.76 \quad R^2 = 0.601$$

Donde:

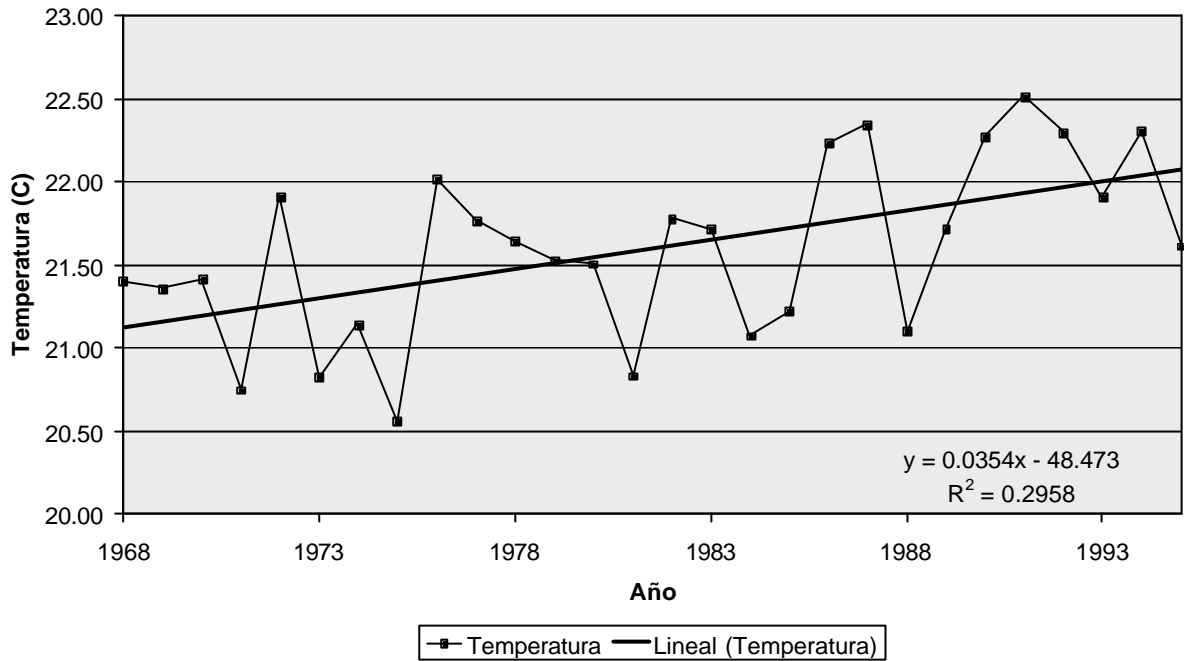
T = Temperatura (°C), PIB = Producto interno bruto (millones de pesos 1975) y Pob= Población (número de habitantes)

Se ve como los coeficientes de correlación para los tres casos son mayores de 0.5. A partir de estos coeficientes se puede decir que hay una influencia apreciable de los factores que representan el crecimiento de la urbanización en el aumento de la temperatura en el Valle de Aburrá.

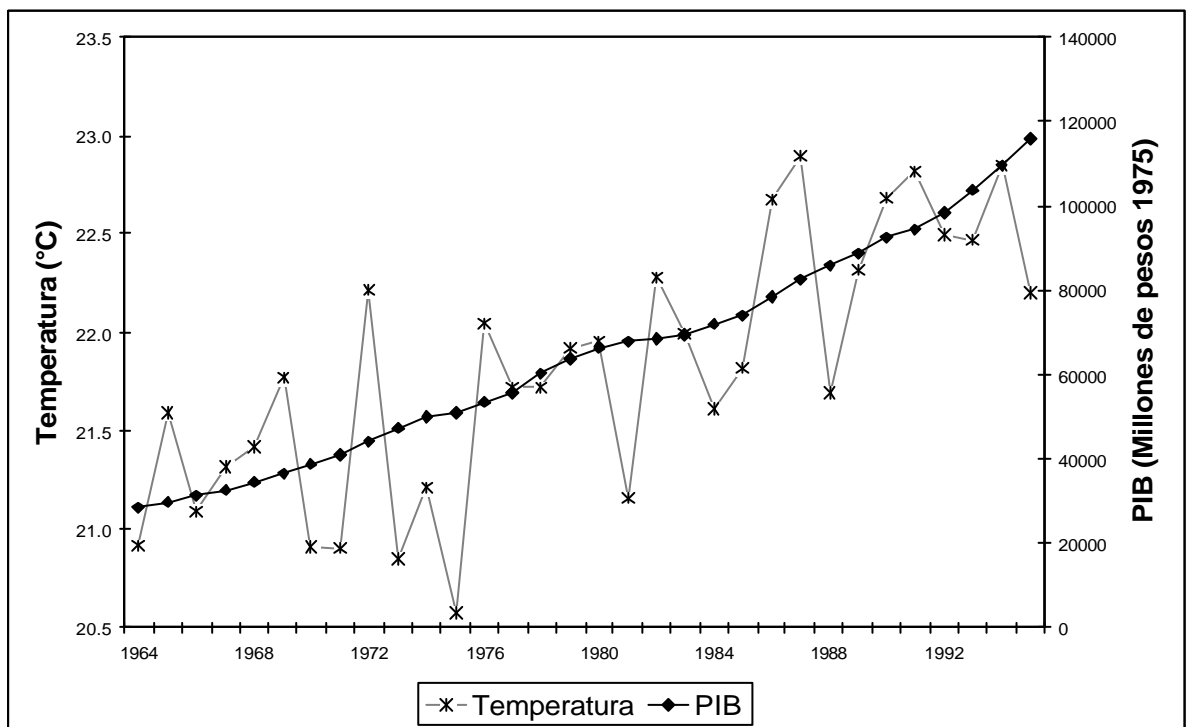
CONCLUSIONES

En las series de temperatura se encuentra un cambio abrupto en la tendencia que pasa de una ten-

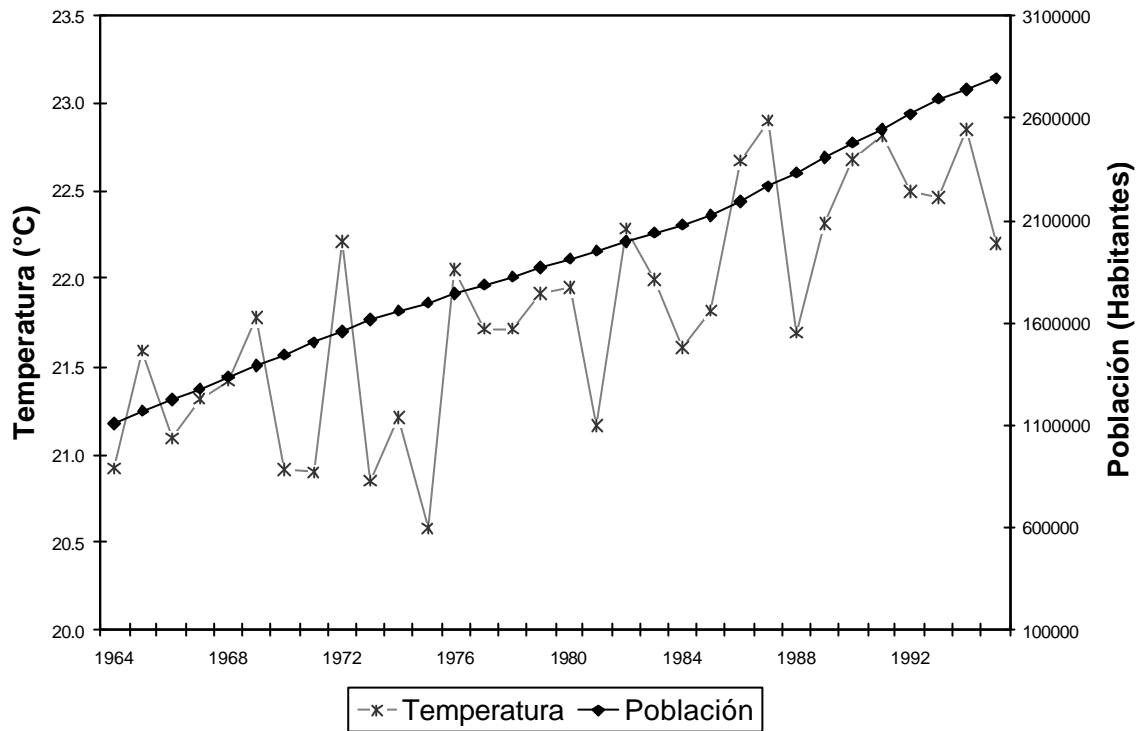
Temperatura desde 1968 en Tulio Ospina



Gráfica 7. Temperatura media anual para la estación Tulio Ospina desde el año 1968; se presenta la ecuación de tendencia lineal.



Gráfica 8. Serie de temperatura en la estación Olaya Herrea (°C) y serie de producto interno bruto en el Valle de Aburrá (millones de pesos 1975).



Gráfica 9. Serie de temperatura en la estación Olaya Herrea (°C) y serie de población en el Valle de Aburrá (habitantes).

dencia decreciente a creciente aproximadamente entre 1976 y 1977. Este cambio se puede deber a los aumentos abruptos en la temperatura del océano Pacífico registrados en este año e informados en la literatura (Miller *et al.*, 1994).

Es importante conocer hasta qué punto el comportamiento de la temperatura en el Valle de Aburrá no es parte de un ciclo que no puede verse por la ausencia de datos anteriores a 1941; de esta manera se podría identificar una causa a la tendencia de crecimiento en la temperatura en el Valle de Aburrá diferente al calentamiento global natural o la actividad antrópica.

El aumento en la temperatura media anual es mayor en la estación Olaya Herrera ubicada en el municipio de Medellín comparado con el aumento encontrado en la estación Tulio Ospina ubicada en Bello. Esta diferencia entre las temperaturas se puede deber a que Medellín es el municipio con la mayor área urbanizada, el que tiene la mayor población y

además se encuentra en el centro del Valle entre los otros nueve municipios. De esta manera se podría decir que el municipio de Medellín es el que concentra la mayor actividad antrópica; que como se vio en los resultados, influye en el aumento de la temperatura en el Valle.

Los aumentos en la temperatura del Valle de Aburrá, sobre todo los encontrados en la estación Olaya Herrera son comparables con los registrados en centros urbanos alrededor del mundo; en el caso de ciudades como México, Washington y São Paulo son aumentos de aproximadamente 2°C (Oke, 1997).

De las correlaciones lineales y los coeficientes de correlación se concluye que el aumento de la urbanización y de la producción económica influye en el aumento de la temperatura en el Valle de Aburrá. Además, con la temperatura se puede identificar en una región urbana una marcada retroalimentación positiva entre el crecimiento de la población, de la

urbanización, de la industria y de la economía.

Indicadores como el PIB que representa la variación de la producción de una sociedad (en el caso del Valle de Aburrá producción industrial) y la población muestran cómo el crecimiento de las zonas urbanas está ligado en gran medida con el aumento de la economía productiva. Cuanto más beneficio económico mayor es la población atraída a una localidad.

Para hacer una estimación más acertada del crecimiento económico o de bienestar de una población, se debe incorporar dentro de los indicadores como el PIB, un rubro que tenga en cuenta los impactos económicos generados sobre las sociedades asociados con el deterioro del medio ambiente, en este caso, representado por el aumento de la temperatura debido al crecimiento de la producción industrial.

LITERATURA CITADA

- Departamento Administrativo de Planeación Departamental.** 2005. Anuario Estadístico de Antioquia, Disponible en: <http://www.planeacionantioquia.gov.co/anuario2005/index.htm>
- Bases de datos del Proyecto RedRio** fase II. *Información mensual tomada de estaciones del IDEAM.* Sala

Informática PARH. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.

- Ceballos A, Góez C.** 2003. *Detección de valores anormalmente extremos «outliers» en series hidrológicas.* Trabajo dirigido de grado. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 113 p.
- Departamento Administrativo de Planeación Nacional (DNP).** Estadísticas Nacionales. 2007 Disponible en: <http://www.dnp.gov.co>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 2007. *Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers.* 10th Session of Working Group I of the IPCC, Paris, February 2007.
- Miller, A. J., D. R. Cayan, T. P. Barnett, N. E. Graham, y J. M. Oberhuber.** 1994. The 1976-1977 climate shift of the Pacific Ocean. *Oceanography.* 7 (1): 21-6.
- NOAA.** 2007. Series mensuales de 1952 a 2006 de variación del índice SOI. Disponible en: http://_www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html
- Oke, T. R.,** 1997. Urban climates and global change. *In: Applied climatology: principles and practice.* A. Perry, R. Thompson (eds.). London: Routledge. p. 273-87.
- Roth, M.** 2002. *Effects of cities on local climates, Proceedings of workshop of IGES/APN mega-city Project.* 23-25 January 2002. Kitakyushu, Japan.
- Schnitter, P.** 2005. Construcción fragmentaria, característica del crecimiento metropolitano de la ciudad de Medellín, Colombia. Lectura cartográfica de tres momentos significativos. *Scripta Nova. Rev Electr Geogr Cien Soc.* IX (194): 9.