

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SEÑALES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN
COLOMBIA**

Andrés Ochoa y Germán Poveda

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia, aochoaj@unalmed.edu.co, gpoveda@unalmed.edu.co

RESUMEN:

En este trabajo se estudia la distribución espacial de las señales de cambio climático en Colombia detectadas por Mesa et al. (1998) en series mensuales de diversas variables hidrometeorológicas. Se analizan series de 151 estaciones pluviométricas, 72 estaciones de medición de caudales, 51 de temperaturas mínimas, 54 de temperaturas medias, 44 de temperatura del punto de rocío, 30 de presión de vapor y 25 de evaporación de tanque. La mayoría de las series cubren el período de 1955 a 1990. Las señales más claras de cambio climático son las de temperaturas mínimas y medias, que muestran un comportamiento creciente generalizado. Este comportamiento es consistente con las señales de las series de punto de rocío y presión de vapor, indicando todas ellas un aumento en la humedad del aire. Las series de evaporación mostraron tendencias tanto positivas como negativas, mientras que en mayor parte de las series de precipitación no se detectó ninguna tendencia, excepto por algunas estaciones con tendencia creciente en Antioquia y Boyacá. Las series de caudales medios de las cuencas más grandes mostraron tendencia decreciente.

ABSTRACT:

We study the spatial distribution of long-term trends in monthly records of diverse hydro-climatological variables of Colombia. Our data set consists of monthly precipitation records at 151 rain gauges, monthly mean river discharges at 72 stations, minimum temperature at 51 stations, average temperature at 54 stations, dew point temperature at 44 stations, water vapour pressure at 30 stations and pan evaporation at 25 stations. Most series cover the period 1955-1990. Positive trends are detected in minimum and mean temperature, which are spatially consistent with those identified in records of dew point temperature and water vapour pressure, indicating a general increase in air humidity. Trends in evaporation are mixed, with both positive and negative values. Precipitation does not show clear-cut evidence of definite trends over the whole country, yet positive trends appear to be concentrated in Antioquia and Boyacá regions, whereas fewer negative trends are scattered throughout the country. River discharges from main basins exhibit negative trends.

PALABRAS CLAVES: Cambio climático, Colombia.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país muy particular desde el punto de vista climático, influenciado por factores externos como los fenómenos que ocurren en el mar Caribe, el Océano Pacífico y la cuenca del río Amazonas, todo ello alterado además por una altísima biodiversidad y por un relieve muy irregular que abarca desde costas hasta páramos (Poveda, 2004). Como resultado de la interacción de todos estos factores, el clima de Colombia es tan complejo como interesante (ver por ejemplo Poveda y Mesa, 2000).

Varios estudios se han aproximado al estudio del cambio climático en Colombia. En un recuento no comprehensivo se puede mencionar que uno de los primeros fue el trabajo de Hense et al. (1988), quienes encontraron tendencias positivas en la temperatura y la humedad relativa en Bogotá. Kapala et al. (1994) detectaron tendencias crecientes en la evaporación de los océanos en Panamá. Smith et al. (1996) reportaron tendencias decrecientes en series de precipitación en Bogotá. Este último estudio no encontró señales de cambio en los caudales del río Magdalena en Puerto Berrío. Pérez et al. (1999) encontraron corrimientos en las fases de los ciclos anual y semianual algunas variables climáticas en Colombia.

El cambio climático representa oportunidades y riesgos para el desarrollo humano (IPCC, 2001; Mesa, 2006). Por lo tanto, lo más conveniente para cualquier sociedad es conocer de la mejor manera posible su situación al respecto, con el fin de prepararse para prevenir y mitigar los efectos negativos (inundaciones, sequías, hambrunas, heladas, etc.). Las condiciones actuales de cambio climático en Colombia (Mesa et al., 1997; Pérez et al., 1998) plantean un desafío en todos los órdenes sociales: hay que reevaluar y posiblemente replantear la agricultura y la ganadería, la generación de energía y la prevención de desastres, el control de epidemias y los medios de transporte, el abastecimiento de agua doméstico e industrial, etc. Para ello un asunto primordial es conocer lo más profundamente posible la dinámica de los procesos que determinan las variaciones climáticas a diferentes escalas espaciotemporales. En este trabajo analiza la distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas por Mesa et al. (1997) en series mensuales de temperaturas mínimas y medias, temperatura de punto de rocío, tensión de vapor, precipitación y caudales.

DATOS Y MÉTODOS

Mesa et al. (1997) realizaron un análisis de homogeneidad de segundo orden de series mensuales de algunas variables hidrometeorológicas en Colombia. La mayor parte de las estaciones de medición se encuentran localizadas hacia el noroccidente del país y abarcan desde el nivel del mar hasta 3500 m.s.n.m aproximadamente. La zona colombiana de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas tiene poca cobertura espacial y temporal de las redes de medición. El conjunto de datos comprende 51 series de temperatura mínima, 54 de temperatura media, 44 de temperatura de punto de rocío, 30 de tensión de vapor, 15 de evaporación de tanque, 151 de precipitación y 72 de caudal; las estaciones de medición de caudales aforan cuencas de hasta 170.000 km². La mayor parte de las series cubren la segunda mitad del siglo XX, habiendo algunas con cerca de 100 años de registros.

Para probar la existencia cambios en la media y la varianza en las series mensuales de registros hidrometeorológicos, Mesa et al. (1997) utilizaron varias técnicas gráficas (curvas de masa simple y de doble masa, gráficas de cuarteles, gráficas suavizadas, etc.) y varias pruebas estadísticas (T simple, T modificada, prueba de sumas acumuladas, prueba de homogeneidad de Abbe, prueba de Mann-Whitney, prueba de Friedmann, prueba de Kruscal-Wallis, prueba de Petit, Mann-Kendall, prueba de tendencia lineal, Hotelling-Pabst, prueba estacional de Kendall, etc.). En este trabajo utilizaremos los resultados de la prueba de tendencia lineal de largo plazo en la media de la serie con un nivel de confianza del 95%. En la figura 1 se puede observar un ejemplo de una serie con

tendencia creciente. La distribución de la cantidad de series con tendencia creciente o decreciente, y sin tendencia, es la que muestra la tabla 1.

Tabla 1.- Distribución de las tendencias de largo plazo en la media detectadas por Mesa et al. (1997) en series mensuales de variables hidrometeorológicas en Colombia.

Variable	Nº de series	Tendencia creciente	Tendencia decreciente	Sin tendencia
Temperatura mínima	51	36	7	8
Temperatura media	54	24	20	10
Punto de rocío	37	24	6	7
Tensión de vapor	33	17	6	10
Evaporación	25	11	10	4
Precipitación	150	23	7	120
Caudal	72	11	39	22

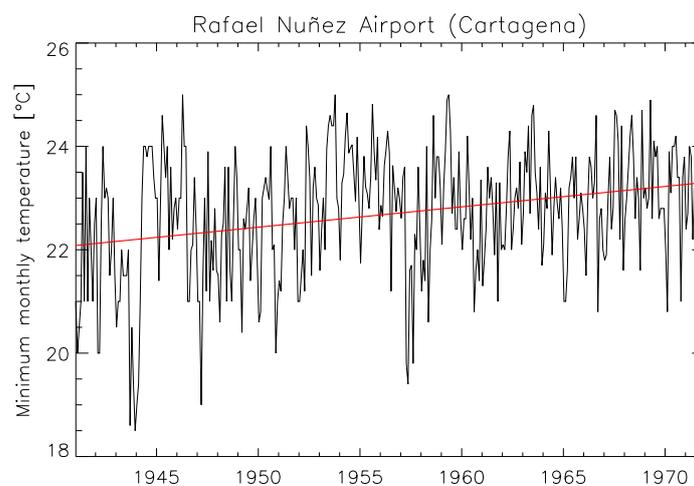


Figure 1.- Serie mensual de temperatura mínima en el aeropuerto Rafael Nuñez de Cartagena.

RESULTADOS

Con el fin de analizar la distribución espacial de las tendencias de largo plazo de las series, se construyó un mapa de Colombia para cada variable. En cada mapa se superpusieron circunferencias, centradas en cada estación de medición, que indican la magnitud de la tendencia detectada en la serie correspondiente; el radio de cada circunferencia es proporcional a la magnitud de la tendencia. El centro de la circunferencia es un triángulo con un vértice hacia arriba si la tendencia detectada es positiva, y con un vértice hacia abajo si esta se negativa. Cuando en la serie no se detectó ninguna tendencia significativa se marcó la estación con una cruz y no se dibujó ninguna circunferencia. Dichos mapas aparecen en las figuras 1 a 7. Adicionalmente las figuras 8 a 15 muestran la variación de los valores de las tendencias de largo plazo con la elevación topográfica de las estaciones de medición.

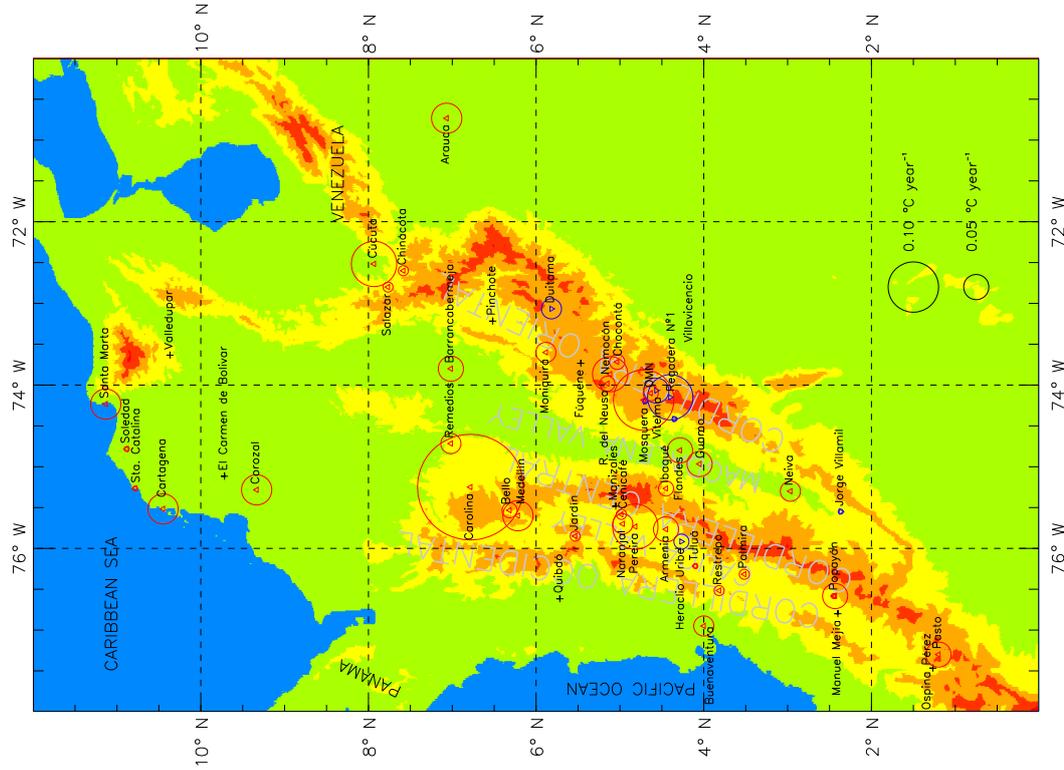


Figure 2.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de temperaturas mínimas mensuales.

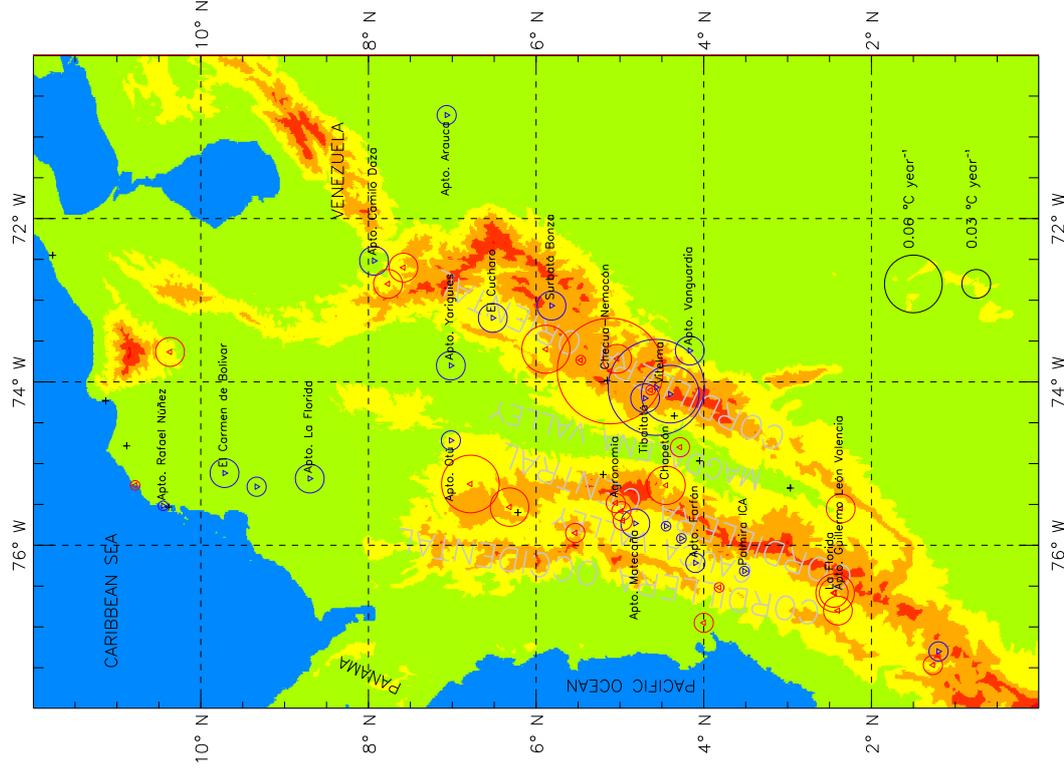


Figure 3.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de temperaturas medias mensuales.

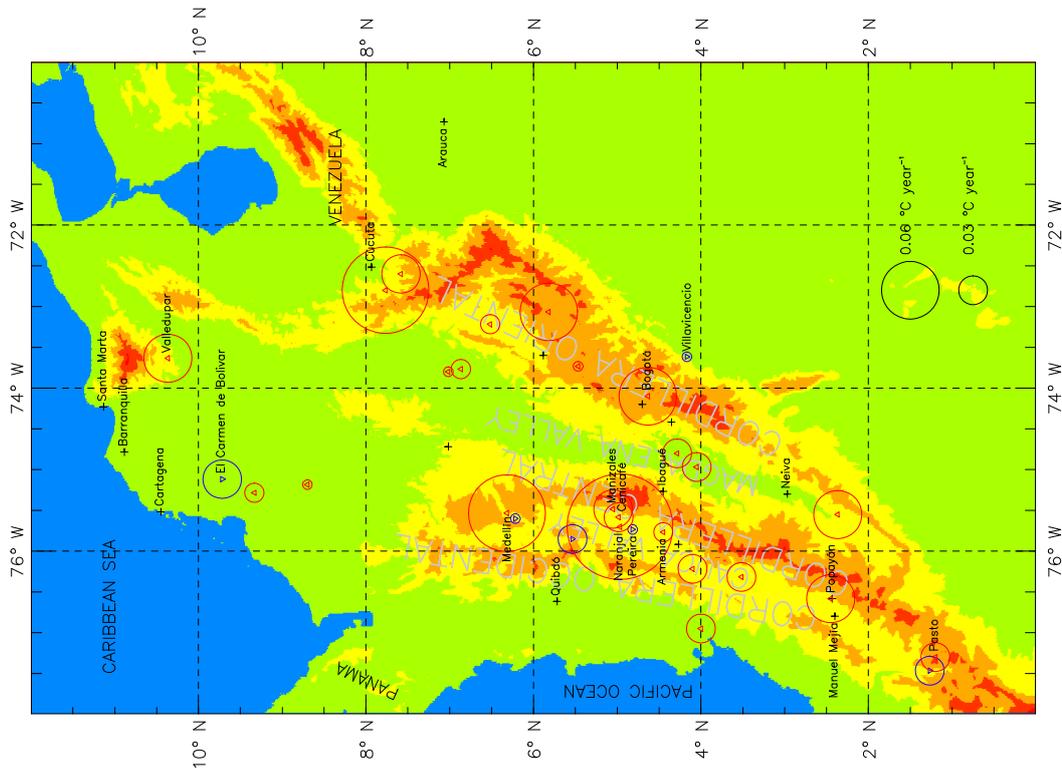


Figure 4.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de temperatura de punto de rocío media mensual.

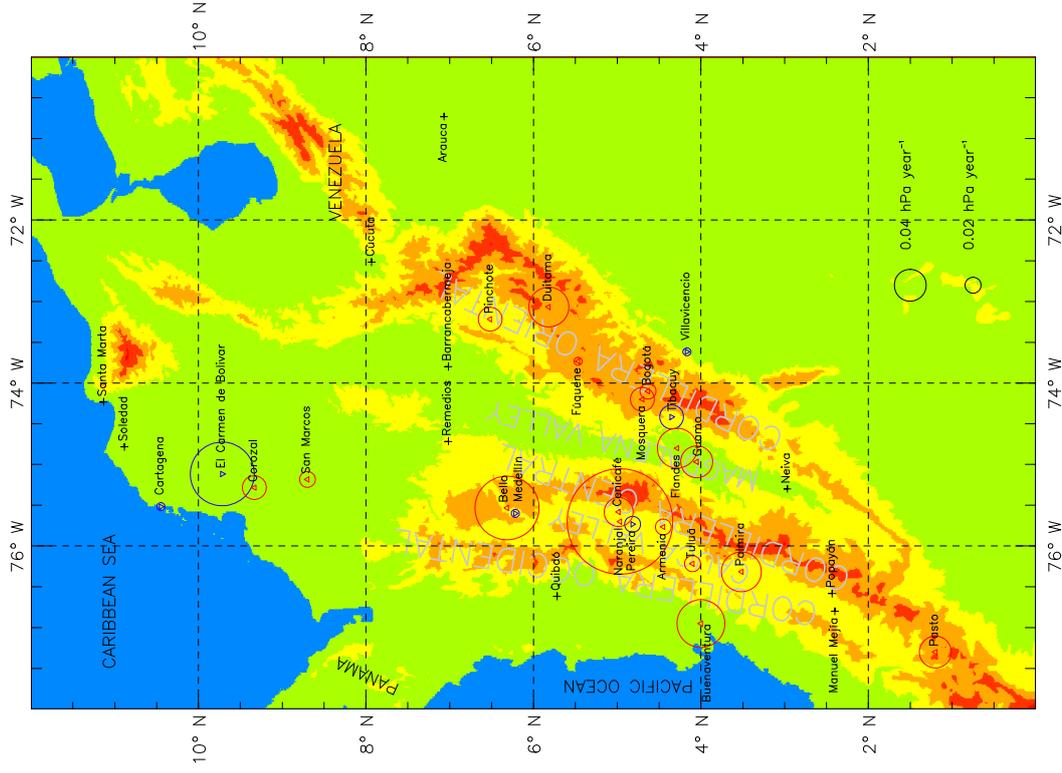


Figure 5.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de tensión de vapor media mensual.

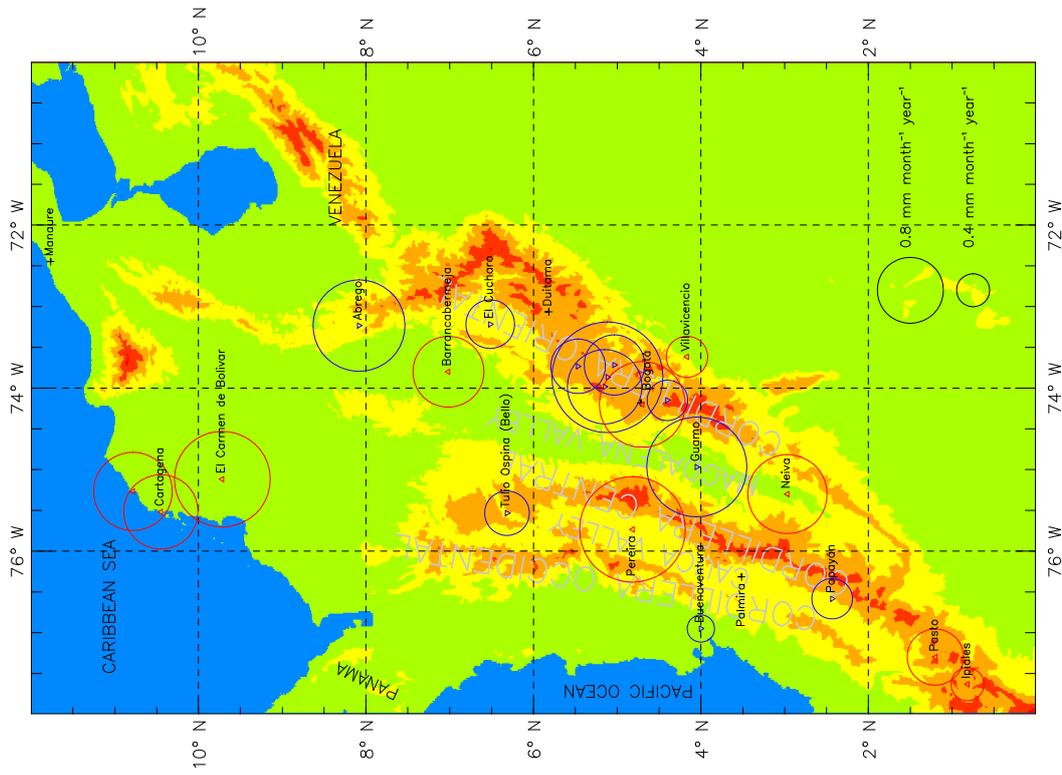


Figure 6.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de evaporación de tanque.

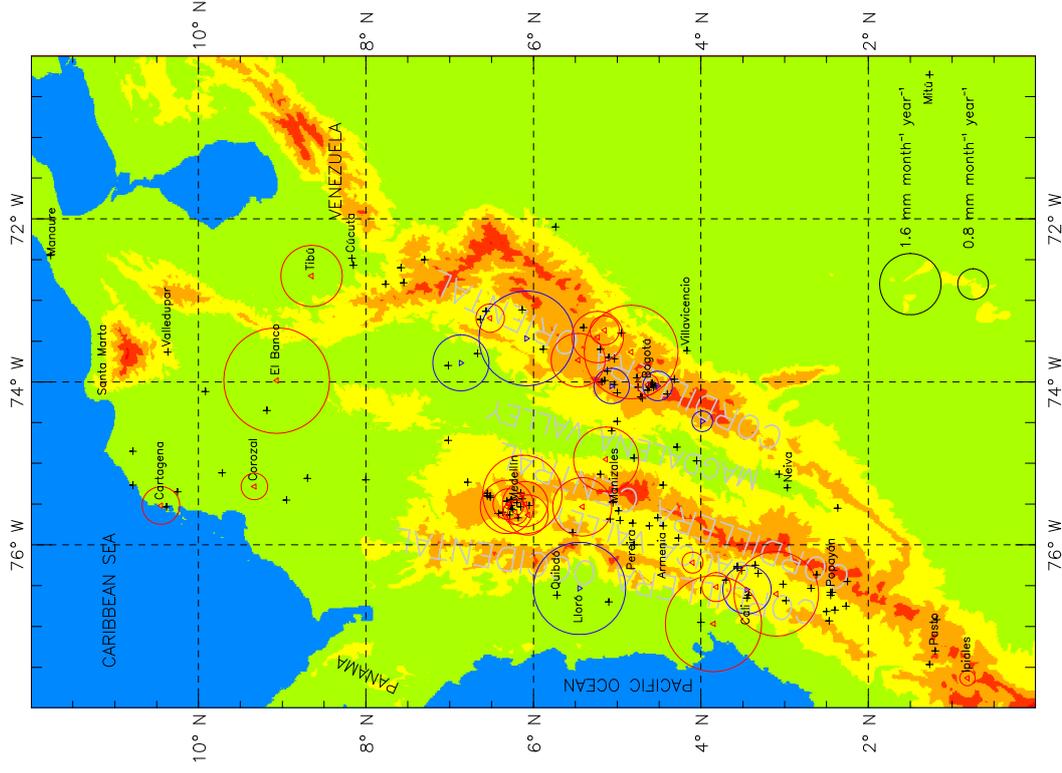


Figure 7.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de precipitación media mensual.

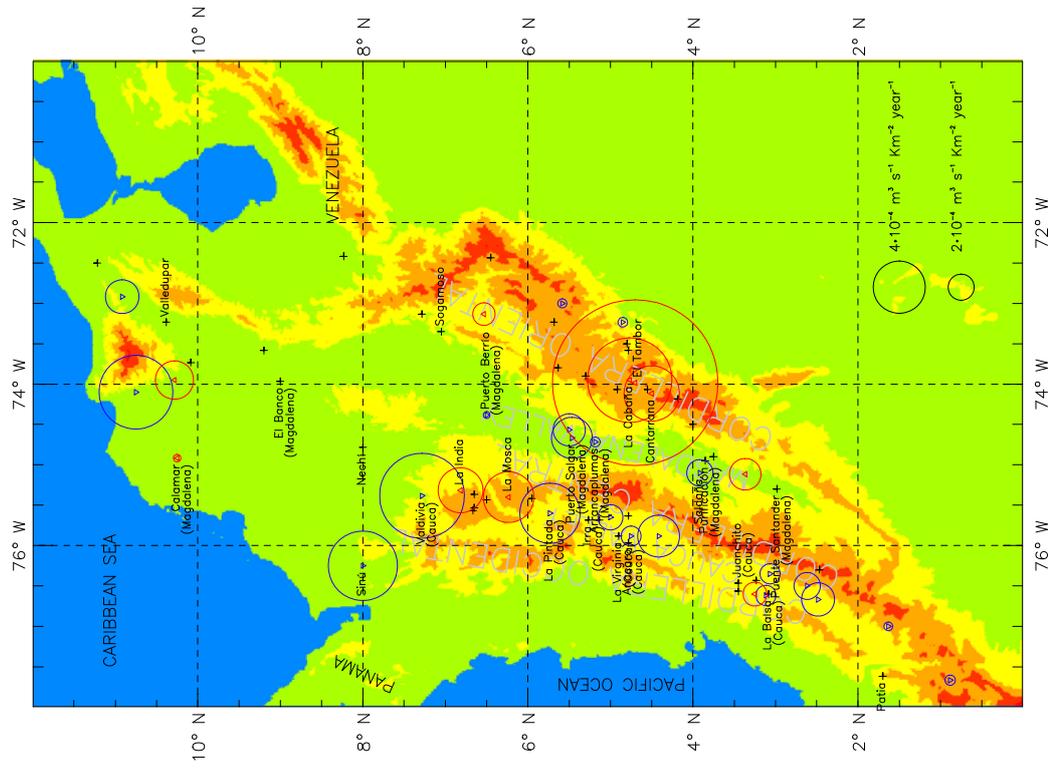


Figure 8.- Distribución espacial de las tendencias de largo plazo detectadas en series de caudales medios mensuales.

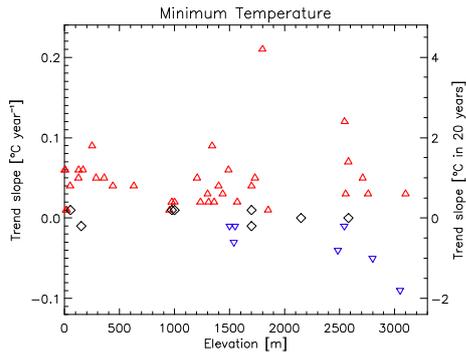


Figure 9.- Tendencias de largo plazo en temperaturas mínimas mensuales versus elevación topográfica de la estación de medición.

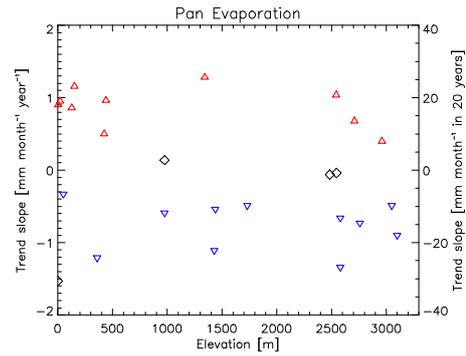


Figure 13.- Tendencias de largo plazo en evaporación de tanque versus elevación topográfica de la estación de medición.

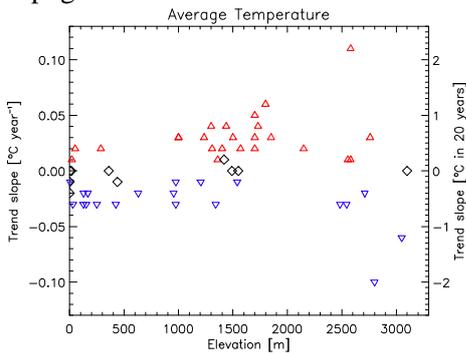


Figure 10.- Tendencias de largo plazo en temperatura media mensual versus elevación topográfica de la estación de medición.

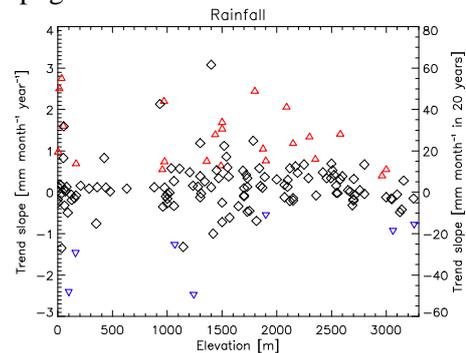


Figure 14.- Tendencias de largo plazo en precipitación media mensual versus elevación topográfica de la estación de medición.

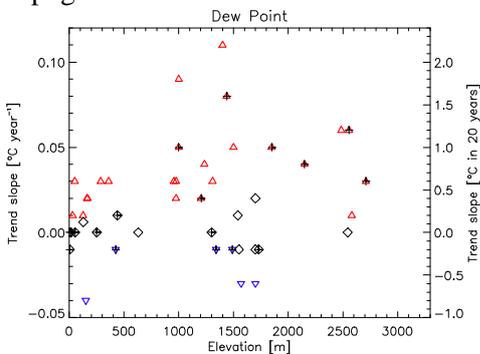


Figure 11.- Tendencias de largo plazo en temperatura de punto de rocío versus elevación topográfica de la estación de medición.

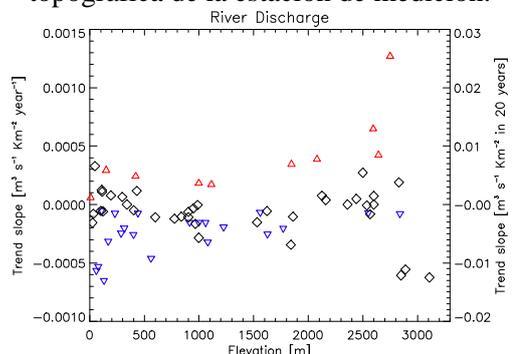


Figure 15.- Tendencias de largo plazo en caudales medios por unidad de área de cuenca versus elevación topográfica de la estación de medición.

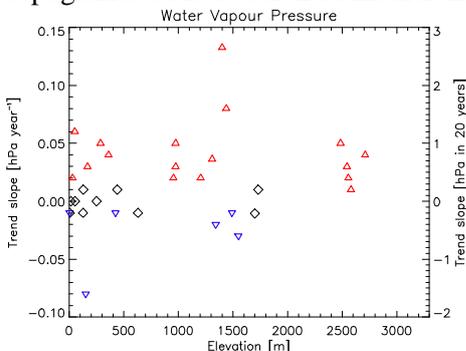


Figure 12.- Tendencias de largo plazo en tensión de vapor versus elevación topográfica de la estación de medición.

Las temperaturas mínimas mensuales tienen en general un comportamiento creciente, aunque con algunas excepciones. La magnitud de la tendencia es del orden de 1°C en 20 años. Las nueve estaciones que mostraron tendencia decreciente en las temperaturas mínimas se encuentran por encima de los 1500 m.s.n.m. Cinco de ellas, algunas con tendencias fuertes, están situadas en el altiplano cundiboyacense. Las señales de las series de temperatura media están un poco más repartidas entre crecientes y decrecientes y se encuentran repartidas por todo el país.

En las tendencias de las series de temperatura de punto de rocío y tensión de vapor predominan las positivas. Algunas tendencias negativas aparecen en centros urbanos como Medellín, Pereira y Villavicencio. Las señales de estas dos variables son coherentes físicamente e indican un aumento en la humedad relativa del aire.

Las tendencias negativas de las series de evaporación están concentradas sobre la cordillera oriental, mientras que las tendencias positivas están distribuidas por todo el territorio. Al noroccidente no aparece ninguna tendencia decreciente de esta variable. La mayoría de las series de precipitación no mostraron ninguna tendencia. Las pocas estaciones con tendencias, tanto positivas como negativas, están distribuidas por todo el país.

El mapa de tendencias en los caudales se elaboró con tendencias por unidad de área de la cuenca. Las tendencias positivas y negativas están distribuidas por todo el territorio, con predominio de las últimas. Es de destacar que la magnitud de las tendencias positivas es mucho mayor que las de las negativas y se presentan en cuencas más pequeñas.

CONCLUSIONES

La cobertura espacial de las redes de medición hidrometeorológica en Colombia requiere incrementarse, especialmente en la Orinoquia y la Amazonia.

Las señales más fuertes de cambio climático en Colombia, a partir del análisis de tendencias de largo plazo en la media de las series mensuales, son las de temperatura mínima, con tendencias de calentamiento del orden de 1°C en 20 años. La tendencia positiva en temperaturas mínimas mensuales es generalizada en el país, excepto en algunos lugares en el altiplano cundiboyacense. Estas tendencias podrían estar asociadas a la ocurrencia de heladas. Las series de temperatura media también indican calentamiento, aunque la señal es menos fuerte.

Las evidencias de cambio climático en las series de evaporación y tensión de vapor son coherentes con las señales en la temperatura. Como consecuencia de estas tendencias la humedad relativa del aire debe haber aumentado, pero esto habría que comprobarlo con mediciones.

Los caudales en las cuencas más grandes, que son las más representativas, tienen tendencia decreciente. Algunas tendencias crecientes muy fuertes en caudales aparecen en cuencas pequeñas, pero posiblemente haya en ellas efectos antropogénicos, por lo que sería recomendable hacer un estudio local más detallado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hense, A., P. Krahe y H. Flohn.** (1988). "Recent fluctuations of tropospheric temperature and water vapor content in the tropics". *Meteorol. Atmos. Phys.*, Vol. 38, pp. 215-227.
- Intergovernmental Panel on Climate Change.** (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. [en línea]. UNEP, WMO. <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>

- Kapala, A.** (1994). "Changes of sea-air interaction parameters at both sides of the Panama Canal and the equatorial East Pacific", *Atmósfera*, Vol. 001, enero 1994.
- Mesa, O.J.** (2007). *¿Adonde va a caer este globo?* Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Mesa, O., G. Poveda y L.F. Carvajal.** (1997). *Introducción al Clima de Colombia*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Pérez, C.A., G. Poveda, O.J. Mesa, L.F. Carvajal y A. Ochoa.** (1998). "Evidencias de cambio climático en Colombia: tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual". *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, Tome 27, n° 3: *Variations climatiques et ressources en eau en Amérique du Sud: Importance et conséquences des événements El Niño*. Lima. pp. 537–546.
- Poveda, G.** (2004). "La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol., XXVIII, No. 107.
- Poveda, G., y O.J. Mesa.** (2000). "On the Existence of Lloró (the Rainiest Locality on Earth): Enhanced Ocean-Land-Atmosphere Interaction by a Low-Level Jet". *Geophysical Research Letters*, Vol. 27 No. 11, pp. 1675–1678.
- Smith, R.A., G. Poveda, O.J. Mesa, C.A. Pérez y C.D. Ruíz.** (1996). "En búsqueda de señales de cambio climático en Colombia", *IV Congreso Colombiano de Meteorología*, Sociedad Colombiana de Meteorología, Santa Fé de Bogotá.