

CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS ASOCIADOS A LA PRECIPITACIÓN USANDO RCLIMDEX, EN LA PARTE CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER, COLOMBIA

María Carolina PINILLA, Carlos PINZÓN
Grupo técnico. Convenio Fundación Natura Colombia - ISAGEN E.S.P
cpinilla@natura.org.co, omsa_ra@yahoo.com, carlospinzonud@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo caracteriza y analiza el comportamiento de los eventos extremos asociados a la precipitación en la parte central del departamento de Santander, Colombia, con una base de datos de quince estaciones meteorológicas comprendidas en el periodo 1975 – 2010 haciendo uso de índices climáticos obtenidos con el software de RCLIMDEX. Los resultados mostraron tendencias negativas de la precipitación total anual y el número de días al año cuando la precipitación es mayor a 20 mm y 40 mm; por lo contrario se presentaron tendencias positivas para la precipitación máxima anual en un día y para la precipitación total anual mayor al percentil 99. Igualmente se encontró una relación directamente proporcional entre los diferentes índices de precipitación y la altitud de cada estación.

Palabras claves: índices extremos, significancia estadística, tendencias, precipitación, RCLIMDEX.

ABSTRACT

It was made a study about the trends of diary rainfall data using five indexes of RCLIMDEX software, supported with a database of fifteen meteorological stations (period 1970 - 2010). The research uses statistical test to identify rainfall decrease or increase trends and describe the relationship between that trends and altitudinal range. The results suggest that the tendency to precipitation decrease take place around the meteorological stations located between 150 – 1.000 masl while the rainfall increase take place in a range between 1.000 – 2.000 masl.

Key words: extreme indices, statistical significance, trends, precipitation, RCLIMDEX.

1. INTRODUCCIÓN

El clima es el resultado de factores y condiciones ambientales que operan en diferentes escalas y por ello es posible hablar de clima local, clima regional y clima global (Ruíz, 2010). Su

¹ Este artículo hace parte de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la línea base para el Convenio 46/3379, suscrito entre ISAGEN E.S.P. y FUNDACIÓN NATURA en el marco del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, el cual tiene por objeto desarrollar el “Programa para atender la percepción de la comunidad acerca de posibles cambios microclimáticos ocasionados por el embalse”.

caracterización se basa en promedios y/o condiciones predominantes durante un determinado periodo de tiempo y en los últimos años su cambiante dinámica ha despertado el interés de investigadores de diversas disciplinas y tomadores de decisiones que buscan entender sus causas y evidenciar sus efectos (Rodríguez *et al.*, 2010). Para evaluar las causas y consecuencias del clima variable –extremos climáticos– es fundamental reconocer que el sistema climático está regulado por la interacción de seis procesos principales: los de la atmósfera, la superficie terrestre, los océanos, las áreas terrestres cubiertas de hielo, los que se suceden en la Biosfera y desde luego, con los de la actividad humana (Montealegre y Pabon, 2000).

En los últimos años, paralelamente se ha evidenciado una recurrencia de eventos extremos aportando como consecuencia un aumentando en las pérdidas humanas y monetarias, por lo cual Colombia, en respuesta a los compromisos adquiridos ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), ha venido realizando estudios basados en modelos climáticos globales y regionales para simular diversos escenarios climáticos que podrán ocurrir sobre el territorio nacional en los próximos decenios hasta el final del siglo XXI (IDEAM, 2010; Benavides *et al.*, 2007; González, 2008; Pabon, 2003 y 2010). Parte de estos trabajos basan su procesamiento de datos en el cálculo de índices de extremos climáticos bajo el programa RClimDex, el cual fue desarrollado por el National Climate Data Center (NCDC) del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Teniendo en cuenta lo anterior, al evaluar las evidencias, tendencias y efectos de los extremos climáticos, se pone en manifiesto que uno de los problemas para su estudio es la escasez y la falta de calidad de los datos que dificulta la caracterización y ratificación de posibles tendencias de las variables climáticas, lo cual repercute directamente en la generación de información para la toma de decisiones.

Finalmente, debido a la falta de estudios sobre la ocurrencia de eventos extremos en áreas de escala regional, se propone en este trabajo emplear el programa RClimdex para calcular 5 índices que permiten identificar las tendencias de eventos extremos para los patrones de precipitación en el centro del departamento de Santander-Colombia. Para el presente estudio se usó la precipitación porque fue la única variable que tenía series temporales relativamente extensas con una base de entre 20 y 30 años.

2. DATOS Y MÉTODOS

El departamento de Santander – Colombia, está situado al noreste del país en la región Andina, entre los 05°42'34'' y 08°07'58'' de latitud Norte, y los 72°26' y 74°32' de longitud Oeste. Cuenta con una superficie de 30.537 km² que representa el 2.7 % del territorio nacional y actualmente en su zona central (municipios de San Vicente de Chucurí, Lebrija, Betulia, Zapatoca, Girón y Sabana de Torres) (figura 1) se desarrollan megaproyectos importantes para el país como la operación de la refinería en Barrancabermeja, la construcción de la vía al Sol y la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, entre otros. El centro de Santander es cruzado por el río Sogamoso; los valles, mesetas y montañas que se encuentran ubicados entre la serranía del cañón del río Chicamocha, la serranía de los Yariguíes y la serranía de la paz, presentan condiciones físico-geográficas similares, razón por la cual para efectos de este artículo se considera que los fenómenos climáticos que ocurren en dicha zona corresponden a lo descrito en la introducción como clima regional.

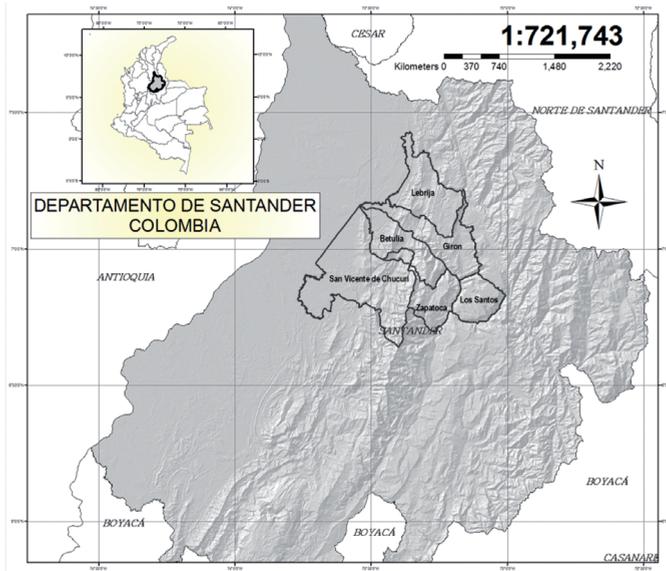


FIG. 1: Ubicación del área de estudio. Fuente: SIG Fundación Natura.

Para el análisis de tendencias de precipitación diaria se empleó una serie de datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) correspondiente al periodo entre 1970-2010 aproximadamente, de 15 estaciones meteorológicas (tabla 1). La información recopilada de dichas estaciones presentó hasta un 20% de datos faltantes a los cuales, después de varios ensayos metodológicos, se decidió no realizarles el llenado de datos con el fin de no distorsionar la base de trabajo por la falta de datos diarios de estaciones patrón (Díaz, 2000).

Ubicación de las estaciones de estudio en el departamento de Santander, Colombia.

Lat.	Long	Municipio	Estación	Elevación
7.109	-73.419	BETULIA	PTE LA PAZ	180
6.968	-73.133	GIRON	PALO GORDO	950
6.998	-73.230	GIRON	EL PANTANO	1280
7.026	-73.167	GIRON	LLANO GRANDE	777
7.076	-73.328	GIRON	LA PARROQUIA	267
7.080	-73.214	LEBRIJA	LA LAGUNA	1050
7.211	-73.218	LEBRIJA	PALMAS	855
7.205	-73.300	LEBRIJA	EL NARANJO	825
7.121	-73.185	LEBRIJA	APTO PALONEGRO	1189
6.759	-73.093	LOS SANTOS	LA MESA	1460
6.873	-73.411	SAN VICENTE DE CHUCURI	SAN VICENTE	721
7.127	-73.521	SAN VICENTE DE CHUCURI	LA PUTANA	150
6.912	-73.632	SAN VICENTE DE CHUCURI	ALBANIA	300
6.707	-73.280	ZAPATOACA	LA FUENTE	815
6.793	-73.283	ZAPATOACA	ZAPATOACA	1810

TABLA 1: Ubicación geográfica de las estaciones de estudio en el departamento de Santander; Colombia.

Sí bien el programa RClimdex opera para el cálculo de índices extremos de precipitación y temperatura, para efectos del presente trabajo se sintetizó en 5 índices representativos de la precipitación (Tabla 2), los cuales son generados mediante tablas y gráficos de regresión lineal utilizando mínimos cuadrados y estadísticos de ajuste, junto con sus tendencias.

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
rx1day	Precipitación máxima anual en un día	mm/año
r20mm	Número de días al año cuando la precipitación es mayor a 20 mm	Días/año
R40mm	Número de días al año cuando la precipitación es mayor a 40 mm	Días/año
r99p	Precipitación total anual mayor al percentil 99	mm/año
Preptot	Precipitación total anual	mm/año

TABLA 2: Índices de precipitación generados por el programa RClimdex.

Se calcularon las tendencias lineales para cinco índices de precipitación y se estableció el grado de relación entre las variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson (R). Posteriormente se determinó, si las variables independientes y dependientes están relacionadas o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar; para ello se aplicó una prueba estadística al coeficiente de correlación: la prueba “t” de Student con N-2 grados de libertad, según la ecuación 1, al nivel de 5% (*) $p < 0,050$ y el 1% (**) $p < 0,010$, para determinar el *P-Valor* (que es la prueba empleada por RClimDex y se mantuvo para este estudio).

$$t = \frac{R\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

R: es el coeficiente de correlación lineal

N: es la cantidad de datos

Finalmente, con el objeto de establecer una relación entre el nivel altitudinal y la tendencia de cada índice, se realizó un diagrama de dispersión de puntos con líneas de tendencia a nivel gráfico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a cada índice (tabla 2) generado por el programa RClimdex. Las tendencias de disminución en los índices extremos de precipitación por cada estación se muestran con valores negativos, mientras que las de aumento de precipitación se muestran con valores positivos. Dentro de la tabla el nivel de significancia estadística de cada coeficiente de correlación se señala con asteriscos.

– Precipitación total anual (**Preptot**)

De acuerdo con la tabla 3, muestra que el 67% de las estaciones muestran tendencia a la disminución de la precipitación con un promedio general de -44 mm/década mientras que el 33% mostraron una tendencia positiva. De otro lado, la mayoría de las estaciones no mostraron p-valor significativo y solo tres estaciones mostraron significancia estadística. Para ilustrar a modo de ejemplo la tendencia de la precipitación total anual (**Preptot**) se tomó al azar la estación de San Vicente de

Chucuri (ver figura 2). Las características más evidentes de las tendencias de la precipitación total anual (mm/año) muestran que la mayoría de las estaciones ubicadas entre los 100 y 1000 msnm hay una tendencia promedio a la disminución, lo cual quiere decir que cada año se está presentando una menor cantidad de lluvia acumulada; las estaciones ubicadas entre los 1000 y 2000 msnm, presentan tendencias relativamente bajas de precipitación (figura 3).

Lat	Long	Municipio	Estación	Elevación	TENDENCIAS DE LOS ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS				
					rx1day	r20mm	R40mm	r99p	preptot
7,1	-73,5	SAN VICENTE DE CHUCURI	LA PUTANA	150	-0.64*	0,12	-0,01	-5.26*	10,33
7,1	-73,4	BETULIA	PTE LA PAZ	180	0,09	-0,07	-0,15	0,94	-17,64
7,1	-73,3	GIRON	LA PARROQUIA	267	0,36	-0.25**	-0,10	1,28	-4,91
6,9	-73,6	SAN VICENTE DE CHUCURI	ALBANIA	300	-0,94	-0.46*	-0.28*	-1,17	-18,01
6,9	-73,4	SAN VICENTE DE CHUCURI	SAN VICENTE	721	0,42	0.16*	0,06	0,91	10.96**
7,0	-73,2	GIRON	LLANO GRANDE	777	0,65	0,04	0,03	2.71*	2,27
6,7	-73,3	ZAPATOCA	LA FUENTE	815	0,12	-0,08	0,05	0,28	-9,21
7,2	-73,3	LEBRIJA	EL NARANJO	825	0,37	-0,37	-0,09	0,41	-10,65
7,2	-73,2	LEBRIJA	PALMAS	855	-0,63	-0.34**	-0.24**	-4.93*	-17.01**
7,0	-73,1	GIRON	PALO GORDO	950	-0,02	-0.19**	-0,02	0,43	-2,79
7,1	-73,2	LEBRIJA	LA LAGUNA	1050	0,15	-0,17	-0,04	0,77	-4,42
7,1	-73,2	LEBRIJA	APTO PALONEGRO	1189	0,55	-0,04	0,05	2,83	2,09
7,0	-73,2	GIRON	EL PANTANO	1280	0.82*	0,05	0,04	2.32*	0,94
6,8	-73,1	LOS SANTOS	LA MESA	1460	-0,18	-0,05	-0,02	-0,71	-5.82*
6,8	-73,3	ZAPATOCA	ZAPATOCA	1810	0,69	-0,04	0,00	1,56	-2,85
				PROMEDIO	0,12	-0,11	-0,05	0,16	-4,45
Significación del coeficiente de correlación (*) p<0,050;				Tend (+)	67%	27%	33%	73%	33%
(**) p<0,010				Tend (-)	33%	73%	67%	27%	67%

TABLA 3: Tendencias y significación estadística del coeficiente de correlación para los índices de eventos extremos en cada estación climatológica.

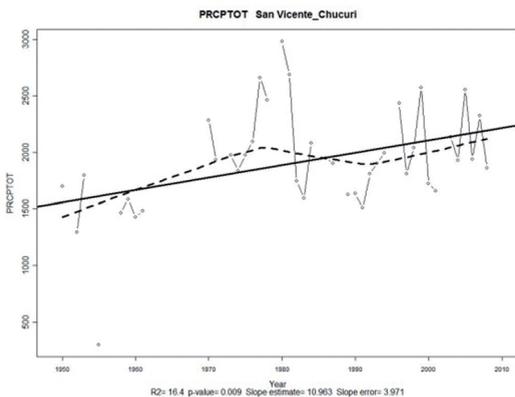


FIG. 2: Tendencia de la precipitación total anual (Prcptot) en la estación San Vicente.

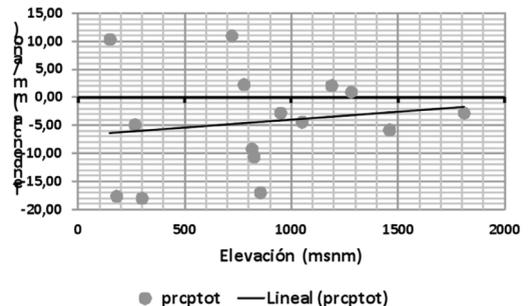


FIG. 3. Relación entre (Prcptot) de las estaciones y la elevación.

– Precipitación máxima anual en un día (**rx1day**)

El 67% de las estaciones muestran una tendencia positiva en la precipitación máxima anual en un día con un promedio general para la zona de 1,2 mm/década mientras que el 33% presentaron tendencias a la disminución. Para ilustrar la tendencia positiva se tomo la estación El Pantano en Giron (figura 4). Respecto a la relación altitudinal se observó que en las estaciones entre 100 y 1000 msnm hay tendencias positivas y negativas pero se resalta que los valores más altos son las tendencias a la disminución. En las estaciones ubicadas entre 1000 y 2000 msnm se presentan tendencias al aumento, mostrando en cierta medida una relación directamente proporcional entre (**rx1day**) y la altitud (figura 5). La mayoría de las estaciones no mostraron significación estadística en las tendencias, salvo en dos estaciones que poseen p-valor < 0.05 (tabla 3).

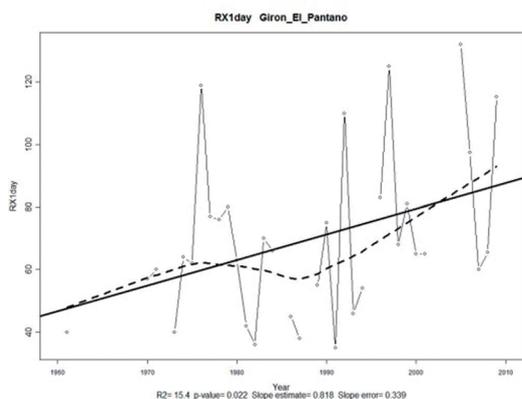


FIG. 4: Tendencia de la Precipitación máxima anual en un día (**rx1day**) en la estación El pantano.

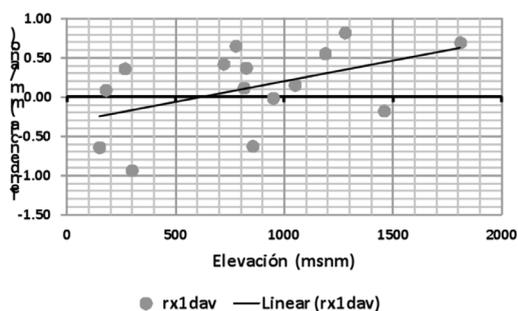


FIG. 5: Relación entre (**rx1day**) de las estaciones y la elevación.

– Número de días al año cuando la precipitación es mayor a 20 mm (**r20mm**) y 40 mm (**r40mm**)

En la tabla 3, las evidencias más relevantes de las tendencias en los índices del número anual de días con lluvias muy fuertes (**r20mm**) y (**r40mm**), muestran que la mayoría de estaciones poseen tendencias a la disminución y aproximadamente se está reduciendo 1 día de lluvias muy fuertes por década, mientras que el 30% de las estaciones aproximadamente tienen tendencia positiva. Las figuras 7 y 9 muestran que en la mayoría de las estaciones entre 100 y 1000 msnm hay una tendencia alta en promedio a la disminución y las estaciones entre 1000 y 2000 msnm presentan tendencias relativamente bajas, oscilando entre +1,0 y -1,0 días/década, exponiendo en cierta medida una relación directamente proporcional entre (**r20mm**) y (**r40mm**), y la altitud. Para **r20mm** el 33% de las estaciones presentaron significancia estadística y para **r40mm** la mayoría de las estaciones no mostraron significación en las tendencias, excepto en dos estaciones que poseen p-valor < 0.05 (tabla 3).

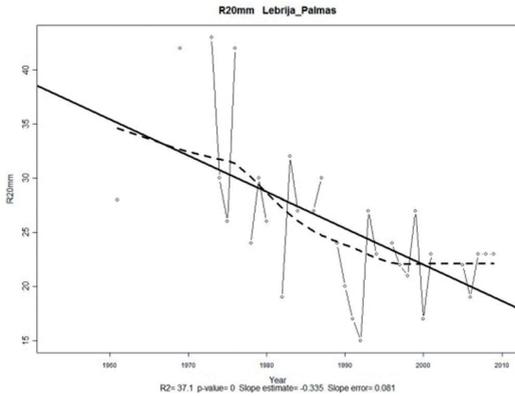


FIG. 6: Tendencia del número de días al año cuando la precipitación es mayor a 20 mm (**r20mm**) en la estación Palmas.

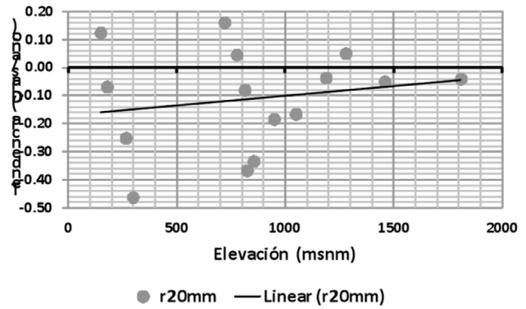


FIG. 7: Relación entre (**r20mm**) de las estaciones y la elevación.

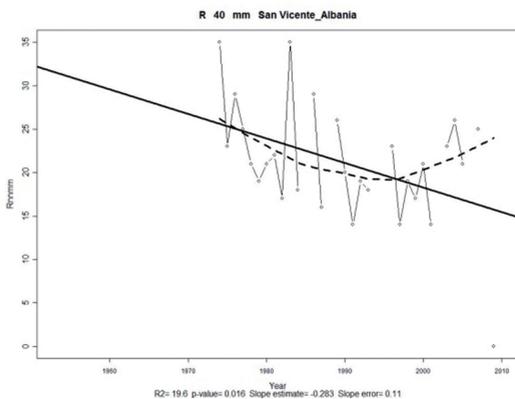


FIG. 8: Tendencia del número de días al año cuando la precipitación es mayor a 40 mm (**r40mm**) en la estación San Vicente.

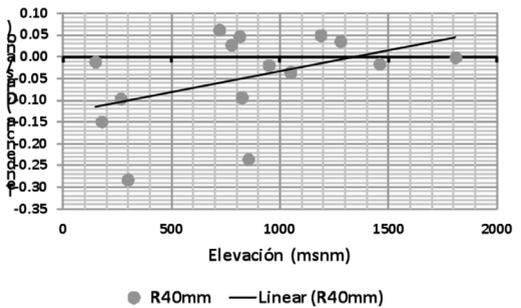


FIG. 9: Relación entre (**r40mm**) de las estaciones y la elevación.

– Precipitación total anual mayor al percentil 99 (**r99p**)

Los valores en la tabla 3 (precipitación anual procedente de los eventos extremos diarios) muestran que el 73% de las estaciones poseen una tendencias positiva en la precipitación total anual mayor al percentil 99, con un promedio general para la zona de 1,6 mm/década y el 27% con tendencias a la disminución. De manera particular las estaciones entre 100 y 1000 msnm presentan tendencias positivas y negativas pero se destaca que los valores más altos son las tendencias a la disminución. Las estaciones ubicadas entre 1000 y 2000 msnm se presentan tendencias al aumento, y por lo tanto, las precipitaciones diarias se hace más extremas en estas áreas, mostrando en cierta medida una relación directamente proporcional entre (**r99p**) y la altitud (figura 11). Igualmente la mayoría de las estaciones no mostraron significación en las tendencias, salvo en 4 estaciones donde son significativas estadísticamente al nivel del 5%.

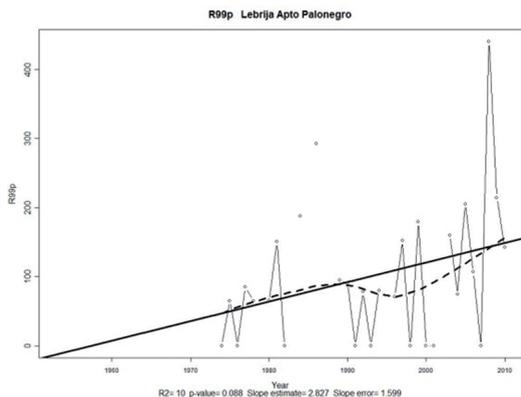


FIG. 10: Tendencia de la precipitación total anual mayor al percentil 99 ($r99p$) en la estación del Apto Palonegro.

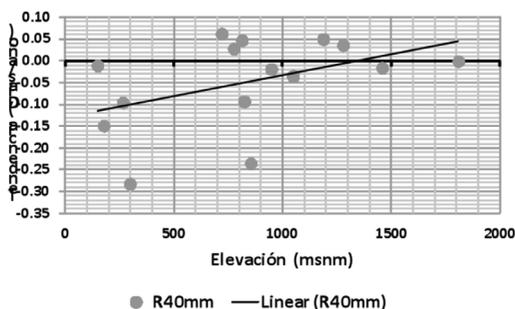


FIG. 11: Relación entre ($r99p$) de las estaciones y la elevación.

4. CONCLUSIONES

- Los análisis de los índices de eventos extremos en los últimos 30 años, arrojaron que solo dos presentaron tendencias positivas, que son precipitación máxima anual en un día ($rx1day$) y precipitación total anual mayor al percentil 99 ($r99p$), aquellas con tendencia negativa fueron, número de días al año con precipitación mayor a 20 mm ($r20mm$) y 40 mm ($r40mm$) y la precipitación total anual ($Preptot$).
- Debido a que las series son relativamente cortas o que probablemente pueden estar bajo efectos de fenómenos atmosféricos de escala decadal, no se pudo establecer con certeza la tendencia real del comportamiento de la precipitación, por lo cual se recomienda trabajar con series los más extensas posibles.
- Se presentaron en los diferentes índices de eventos extremos un número reducido de tendencias con significancia estadística, debido probablemente a la cantidad de datos diarios faltantes en las series, lo cual no permitió precisar una estadística robusta para realizar el análisis espacial con las tendencias de cambio climático de las 15 estaciones.
- Las evidencias más relevantes de las tendencias de los diferentes índices y las diferentes estaciones mostraron que, aquellas que están ubicadas entre 100 y 1000 msnm presentan tendencias positivas y negativas, pero se resalta que los valores más altos son las tendencias a la disminución. En las estaciones ubicadas entre los 1000 y 2000 msnm se presentan tendencias al aumento, y por lo tanto, en cierta medida existe una relación directamente proporcional entre los diferentes índices extremos y la altitud.
- Las conclusiones de esta investigación son un aporte importante en el contexto departamental ya que no hay estudios similares para el departamento de Santander. A partir de los resultados obtenidos es posible plantear estrategias de adaptación y mitigación bajo eventos extremos, así como evaluar la posibilidad de implementarlas en los diferentes contextos sociales y culturales de la zona.

Agradecimientos

Los aportes realizados en este artículo hacen parte de los resultados del Convenio 46/3379, suscrito entre ISAGEN E.S.P. y FUNDACIÓN NATURA COLOMBIA en el marco del Plan de Manejo Ambiental del

Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Los autores agradecen el apoyo financiero, administrativo y técnico brindado por ambas instituciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavides, H., Mayorga, R. & Hurtado, G. 2007. Análisis de índices de extremos climáticos para Colombia usando el RCLimdex. Nota técnica IDEAM – METEO /007-2007, Bogota D.C., 28 pp.
- Díaz, I. 2000. Tratamiento estadístico de datos meteorológicos. Documento Online. Argentina [Citado Enero 2012]. Tomado de Internet URL: <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/35.pdf>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. 2010. Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Tomado de Internet URL:<http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1276>.
- González, H. 2008. De lo global a lo local: escenario climático futuro para la Sabana de Bogotá. Presentación para el Foro Bogotá 2038, Septiembre 10 de 2008.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT - e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. 2009. Cambio climático en el altiplano cundiboyacense con base en el análisis de tendencias de precipitación y temperatura. Memorias Simposio Internacional Ecosistemas y Cambio Climático en el contexto del cambio global en el neotrópico. Medellín - Colombia, 19 y 20 de mayo de 2010
- Montealegre J., & J. Pabón. 2000: La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña– Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*. 2: 7-21. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- Pabón, J.D. 2010. Avances de los escenarios de cambio climático para Colombia. Simposio Internacional: Ecosistemas y Cambio Climático en el contexto del cambio global en el neotrópico. Medellín - Colombia, 19 y 20 de mayo de 2010.
- Pabón, J.D. 2003. El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, XII (1·1), pp. 111 - 119.
- Peterson, T., Vose, R., Schmoyer, R. & V. Razuvaev. 1998. Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18, 1169-1179.
- Rodríguez, N., Pabón, J.D., Bernal, N. & J. Martínez. 2010. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia. 80 p.
- Ruiz, J. 2010. Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). Nota Técnica IDEAM, IDEAM-METEO/05-2010, Bogota D.C., 60 p.

