

SEQUÍA HIDROLÓGICA EN COSTA RICA ¿SE HAN VUELTO MÁS SEVERAS Y FRECUENTES EN LOS ÚLTIMOS AÑOS?

Christian Birkel Dostal*
tuberide@web.de

Fecha de recibido: 05 de abril 2006 / Fecha de aceptación: 22 de junio 2006

Resumen

El estudio trata de estudiar si la sequía hidrológica aumentó en su severidad y frecuencia en los últimos años. Para responder esta pregunta se aplicó el método del umbral a series de caudal diario para 17 cuencas de Costa Rica. Las cuencas representan áreas de diferentes condiciones climáticas, hidrológicas, geológicas y fisiográficas del país. Índices de sequía, tales como duración, volumen de déficit, severidad, número de eventos y frecuencia fueron determinados utilizando la constante Q_{90} percentil de exceso respectivamente a la curva de duración. El método no-paramétrico de Mann-Kendall para detectar tendencias se aplicó al periodo 1973 - 2003 de las 17 estaciones. Solo la Zona Norte dio un resultado positivo significativo ($\alpha = 0,05$), en términos de severidad y frecuencia. Aunque la mayoría de los resultados es insignificativo, se puede notar claramente un patrón espacial de tendencias tanto negativas como positivas.

Palabras clave: Sequía, índice de tendencia Mann-Kendall, índices de sequía, método de umbral, sequía hidrológica

Abstract

Trends in droughts have been studied answering the question if whether stream flow droughts have become more severe or frequent applying the threshold level approach to daily stream flow series of seventeen Costa Rican rivers representing watersheds of all major climatic, hydrological, geological and physiographical variability's across the country. Drought indices such as drought duration, deficit volume, severity, the number of droughts and frequency were determined utilising a constant non-seasonal Q_{90} exceedance percentile respectively from a flow duration curve. The non-parametric Mann-Kendall trend test conducted for the common period 1973 - 2003 of all 17 stations shows just one significant ($\alpha = 0,05$) positive result in terms of increased severity and frequency (at the Northern Zone). Although the majority of test results are non-significant, a clear spatial pattern of positive and negative trends can be noticed.

Keywords: *drought, drought indices, Mann-Kendall trend test, threshold level, stream flow drought*

Résumé

Cette recherche porte à déterminer si dans les dernières années la sécheresse hydrologique à augmenté en intensité et en fréquence. Pour répondre à cette question la méthode de seuil pour chaque série de débits a été appliquée à 17 bassins versants du Costa Rica. Les bassins sont représentatifs de différents secteurs climatiques, hydrologiques, géologiques et physiographiques du pays. Les paramètres de sécheresse tels; durée, volume de débit déficitaire, sévérité, nombre d'événements et fréquence ont été déterminés en utilisant la constante Q_{90} centile d'excès par rapport à la courbe de temps. La méthode non paramétrique de Mann-Kendall pour déterminer les tendances à été appliqué sur 17 stations pour la période 1973-2003. Seulement dans la zone nord on a obtenu un résultat positif significatif ($\alpha = 0,05$), pour les paramètres de sévérité et fréquence. Malgré que la plupart des résultats son peu signifiants on discerne un patron particulier de tendances aussi bien négatives que positives.

Mots clés: *Sécheresse, indice de tendance Mann-Kendall, indice de sécheresse, méthode de seuils, sécheresse hydrologique*

* Instituto Hidrológico de la Universidad de Friburgo, Alemania; y Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica.

Introducción

La sequía en los trópicos no es un fenómeno raro ni casual, sino una característica climática normal y frecuente. Muchos estudios tratan de asociar y cuantificar regionalmente los períodos secos con la fase cálida de El Niño (Glantz; 1991; Ramírez, 1992; Piechota y Dracup, 1996; Ropelewski y Halpert, 1996; Waylen et al. 2002; Dettinger et al., 2003 y Retana, 2003), pero se realizaron pocos esfuerzos para analizar el comportamiento de sequías hidrológicas, y en particular, las tendencias en series de tiempo en Costa Rica.

La sequía puede afectar áreas grandes y causar severos daños sociales, ambientales y económicos si persiste en cierto número de meses y temporadas.

Sequías recientes en Costa Rica mostraron no solo la vulnerabilidad de la economía costarricense en la agricultura, sino también la amenaza para comunidades locales por cortes en el suministro de agua. Los años inusualmente secos de 1997 y 1998, durante el evento El Niño en Centroamérica, causaron una pérdida económica

de 32,8 millones de dólares, tan solo en el sector agrícola costarricense (Cepal, 2005).

Desde los años 70, el lector interesado en la prensa se da cuenta de que en cada década se produce una sequía por lo menos en una región del país. Apoyado por los medios, creció un fuerte interés público en el tema de sequía y El Niño en Costa Rica.

Este estudio se llevó a cabo en el marco del proyecto “extremos hidrológicos”, en el grupo de trabajo AMIGO de la PNUD, para tratar de responder la pregunta en cuanto a si las sequías hidrológicas se han vuelto más frecuentes y severas en los últimos años en Costa Rica.

Área de estudio

El área de investigación, Costa Rica, se ubica en el sur del istmo de Centroamérica. Su territorio se extiende de 8°00' de latitud sur hasta 11°15' de latitud norte, y desde 82°30' de longitud este hasta 86°00' de longitud oeste, con un área total de 51100 km² (Figura 1).

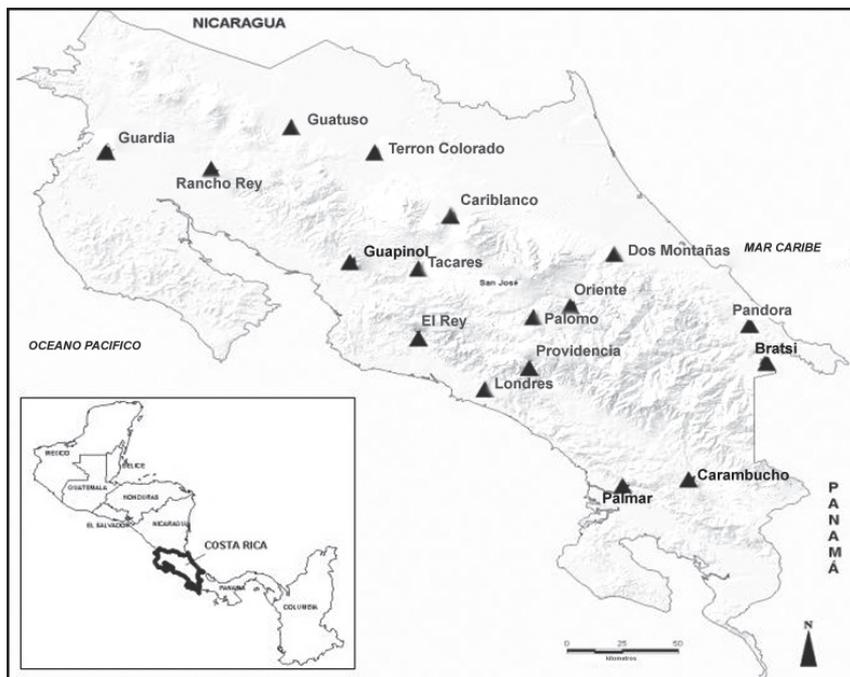


Figura 1. Estaciones fluviométricas de Costa Rica utilizadas en el estudio.

En Costa Rica, el flujo de los ríos no se ve afectado por nieve ni hielo (glaciares), así que los regímenes de flujo según Guilcher (1965) y Silva (1991) se clasifican como de carácter pluvial con una fuerte temporalidad, con flujos muy bajos durante la estación seca del Pacífico y flujos muy altos en las máximas de lluvias de la Vertiente Caribe y Pacífico. El régimen equilibrado del Caribe forma parte de una excepción porque no representa un máximo o mínimo definido. Además, hay que mencionar los regímenes del tipo pluvial regular e irregular, que presentan, en el caso del irregular, una segunda mínima durante el mes de Julio, causada por el fenómeno climático del “Veranillo” o Canícula.

Las comparaciones de regímenes que pertenecen a unidades geográficas comparables en el término climático, muestran características similares y por lo tanto apoyan una generalización espacial. El régimen irregular pertenece a la Vertiente del Pacífico, y refleja variaciones climáticas promedio de un periodo seco en julio, que dura unas semanas, con máximos en junio y octubre.

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) proveyó los datos hidrológicos de diecisiete estaciones pluviométricas de su base de datos, para el período comprendido entre el año 1973 y el 2003. El área de las cuencas elegidas en este estudio varía entre 200 y 4767 km². Las propiedades de sequía se calcularon para los datos de las 17 estaciones, lo que garantiza una cobertura regional para toda Costa Rica que permite así realizar el análisis de tendencias.

La sequía hidrológica

La sequía se puede describir desde muchos puntos de vista diferentes, pero ante la ausencia de una definición completa, el concepto de la sequía relacionada con el ciclo hidrológico (Figura 2) parece un método adecuado (National Drought Mitigation Center, NDMC, 2005 – Centro Nacional de la Mitigación de Sequía). En general, se pueden distinguir varios tipos de sequía: La sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y subterránea (Tallaksen y van Lanen, 2004).

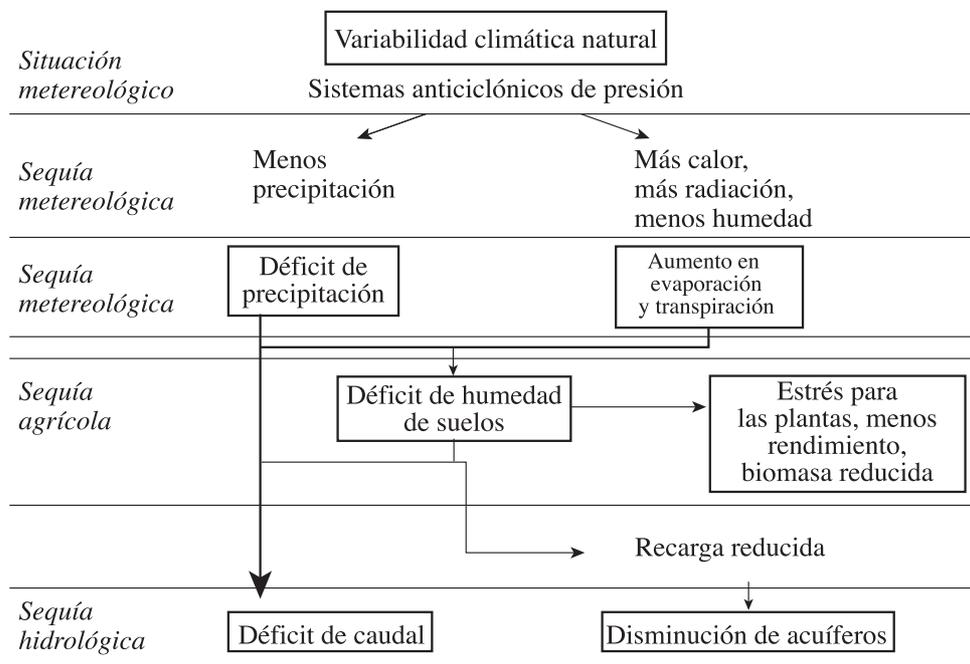


Figura 2. Manifestación de la sequía en el ciclo hidrológico, modificado según NDMC (2005).

Los eventos de sequía hidrológica fueron definidos por medio del método del “nivel de umbral”, usando un valor de caudal específico (en este estudio: Q_{90}) que supera o queda por debajo de cierto porcentaje determinado por una curva de duración.

La aplicación de la teoría según Zelenhasic y Salvai (1987) del umbral a una serie de caudal diario (Figura 3) permite definir eventos de sequía en términos de duración d (días), volumen de déficit s (1000 m^3) y el número de sequías ocurridas en un año ND (-). El umbral se define a través de la curva de duración y refleja el caudal (m^3/s) que esta superado o no en un porcentaje ($Q_{90} = 90$ por ciento) de todo el tiempo.

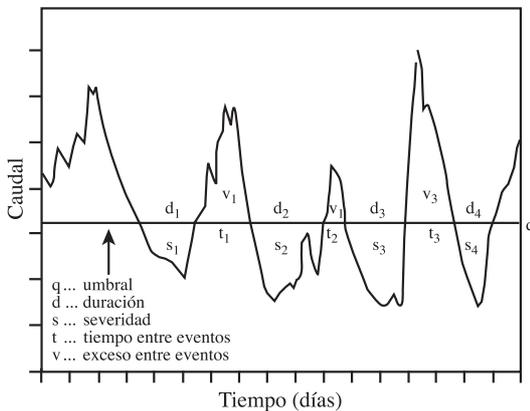


Figura 3. Aplicación del umbral al caudal diario.

De acuerdo con Tallaksen & Hisdal (1997), el tiempo entre dos eventos t y el criterio de exceso v tuvo que ser introducido para seleccionar eventos menores de poca duración y de poco déficit. Se usan eventos de sequía definidos para calcular varios índices de sequía en términos máximos de severidad en un año, como por ejemplo el índice de sequía de duración máxima anual, AMD en días, el déficit máximo anual, AMV en 1000 m^3 y la frecuencia (Número de sequías, ND). El método del umbral se usa para estudios de la sequía hidrológica y se considera, en términos hidrológicos y estadísticos, como un método adecuado según Zelenhasic y Salvai, 1987, Tallaksen y Hisdal, 1997; Demuth

y Heinrich, 1998, Tallaksen y van Lanen 2004 y Birkel y Demuth, 2006.

Análisis de tendencias

La tendencia a que existan series de sequías históricas podría tener su origen en las influencias antrópicas como el uso y la regulación de las aguas de ríos y el riego. Según el International Panel of Climate Change (2001, por sus siglas en inglés – Panel internacional sobre el cambio climático), la probabilidad de existencia de sequías puede ser causada por el cambio climático, en particular por un cambio en el patrón de precipitaciones y en la evapotranspiración, que originan un cambio en el comportamiento hidrológico del ciclo de agua.

Generalmente, los científicos están de acuerdo en que el ciclo hidrológico se intensificará y los extremos como la sequías y la inundación se convertirán en fenómenos más comunes por el aumento global de la temperatura que se ha proyectado a la actualidad (Watson, Zinyowera y Moss, 1998).

Hay que considerar la dependencia exclusiva del análisis de tendencias a la longitud de las series de tiempo disponibles, así que una tendencia revelada simplemente puede formar parte de una fluctuación climática natural o de una influencia humana.

Los constantes índices de sequías máximas anuales y el número de sequías ocurrido en un año se pueden relacionar con las causas anteriormente mencionadas. Un método para detectar la existencia de sequía fue calculado mediante dichos índices para tratar de responder a la pregunta de si las sequías hidrológicas se han vuelto más frecuentes en Costa Rica (en el término del número de sequías ocurridas en un año, ND) y severas (en términos de duración, AMD y déficit, AMV). Hisdal, Stahl, Tallaksen y Demuth (2001) propusieron el método no-paramétrico de Mann-Kendall (MK) por la Curtosis de datos hidrológicos, es decir, la ocurrencia de pocos eventos extremos y una mayoría de eventos normales.

Mann (1945) y Kendall (1975) detectaron por primera vez tendencias en series de tiempo

proponiendo un método estable, simple, no paramétrico y basado en rangos para la correlación de dos variables, que en este caso es el tiempo y series de sequía. La variable estadística MK (para Mann-Kendall) para una serie de tiempo, de datos $\{Z_k, k = 1, 2, \dots, n\}$ se define de la siguiente manera:

$$T = \sum_{j-i} \text{sgn}_- Z_i - Z_j_- \tag{1.0}$$

donde

$$\text{sgn}_- x_- = \begin{cases} 1, & \text{si } x_- > 0 \\ 0, & \text{si } x_- = 0 \\ -1, & \text{si } x_- < 0 \end{cases} \tag{1.1}$$

Si hay consistencia en las observaciones presentes y si no hay una tendencia en la serie, la estadística MK del método estará distribuida normalmente y asintóticamente con

$$E(T) = 0$$

$$\text{y } \text{Var}(T) = n(n-1)(2n+5) \div 18 \tag{1.2}$$

E (T) ...Expectativa de la estadística T del MK (-)

Var (T) ...Varianza de la estadística T del MK (-)

La hipótesis de una tendencia positiva (sequías más frecuentes o severas) o negativa (sequías menos frecuentes o severas) no se puede desatender a un nivel de significación α , si $|T| > u_{T-\alpha/2}$, donde $u_{T-\alpha/2}$ es el $1-\alpha/2$ cantil de la distribución normal estándar. El método realizado por tres índices de sequía (AMD, AMV y ND) obtenidos por el umbral constante Q_{90} y aplicado a una prueba estadística de dos lazos con un nivel de significación de cinco por ciento ($\alpha = 0.05$).

Las figuras 4 y 5 representan la variabilidad espacial de la tendencia a la probabilidad de sequías mas (+) o menos (-) severas y frecuentes. La Figura 4 muestra las estadísticas de la tendencia de los resultados del MK para el índice AMV del período común de todas las estaciones

disponibles. Para la mayoría de las estaciones, los resultados del AMV y del AMD (severidad en términos de duración, AMD y del déficit de volumen, AMV) son similares, excepto el ND (frecuencia) que muestra parcialmente otra imagen (Figura 5). Se considera suficiente demostrar las figuras de los resultados del análisis para los índices AMV y ND.

Aunque solo se hallaron dos tendencias significativas (positivas) para el ND y el AMV (dos estaciones diferentes, pero de la misma región climática; La Zona Norte) en series de sequías históricas de Costa Rica, se puede observar claramente un patrón regional.

Aparentemente, en la parte occidental de la Zona Norte la severidad y la frecuencia aumentaron significativamente en los últimos años. En esta región la única tendencia estadísticamente significativa presenta un aumento en la severidad y la frecuencia de la sequía hidrológica.

Las cuencas hidrográficas que representan una tendencia hacia un aumento en la severidad se ubican en el Pacífico Central, mientras que cuencas con una tendencia hacia una disminución en la severidad están situadas en el Valle Central. El Caribe y el Pacífico Norte tienden hacia un resultado contradictorio en términos de severidad de sequías. En dichas regiones, unas estaciones marcan una tendencia negativa, mientras que otras estaciones vecinas muestran una tendencia positiva. Dicha oscilación de los resultados implica generalmente la dificultad para determinar con certeza la tendencia estadísticamente no-significativa.

En la figura 5 se representa la frecuencia anual de la sequía (ND), cuyo comportamiento varía en el patrón espacial de tendencias. El Pacífico Norte y el Caribe se caracterizan por una tendencia negativa de la frecuencia, el Pacífico Central y la Zona Norte mantienen la tendencia también en el término de frecuencias hacia un aumento en el número de sequías. El Valle Central y el Pacífico Sur muestran un patrón indiferente de la frecuencia de sequías.

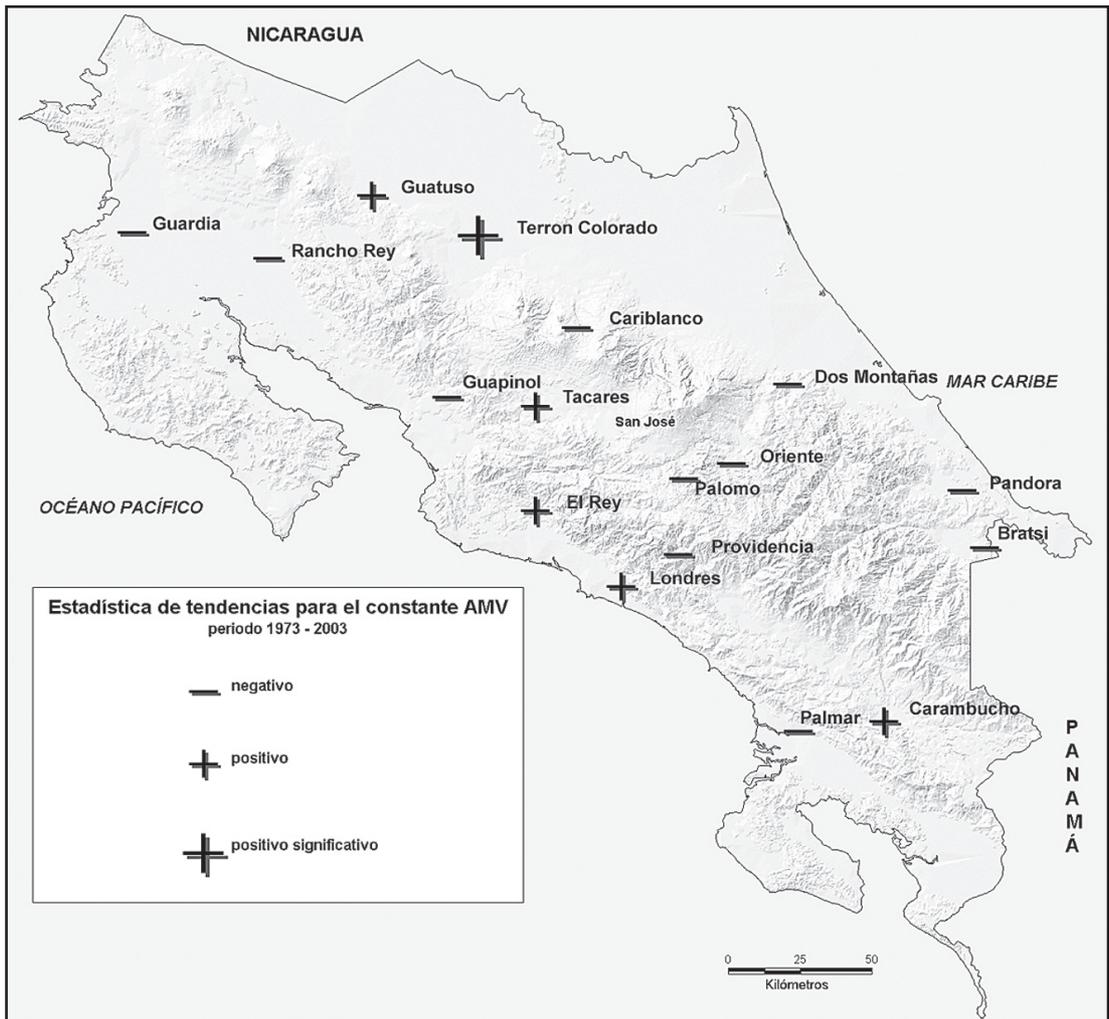


Figura 4. Tendencia en la severidad (AMV) de series de sequía para el periodo 1973-2003.

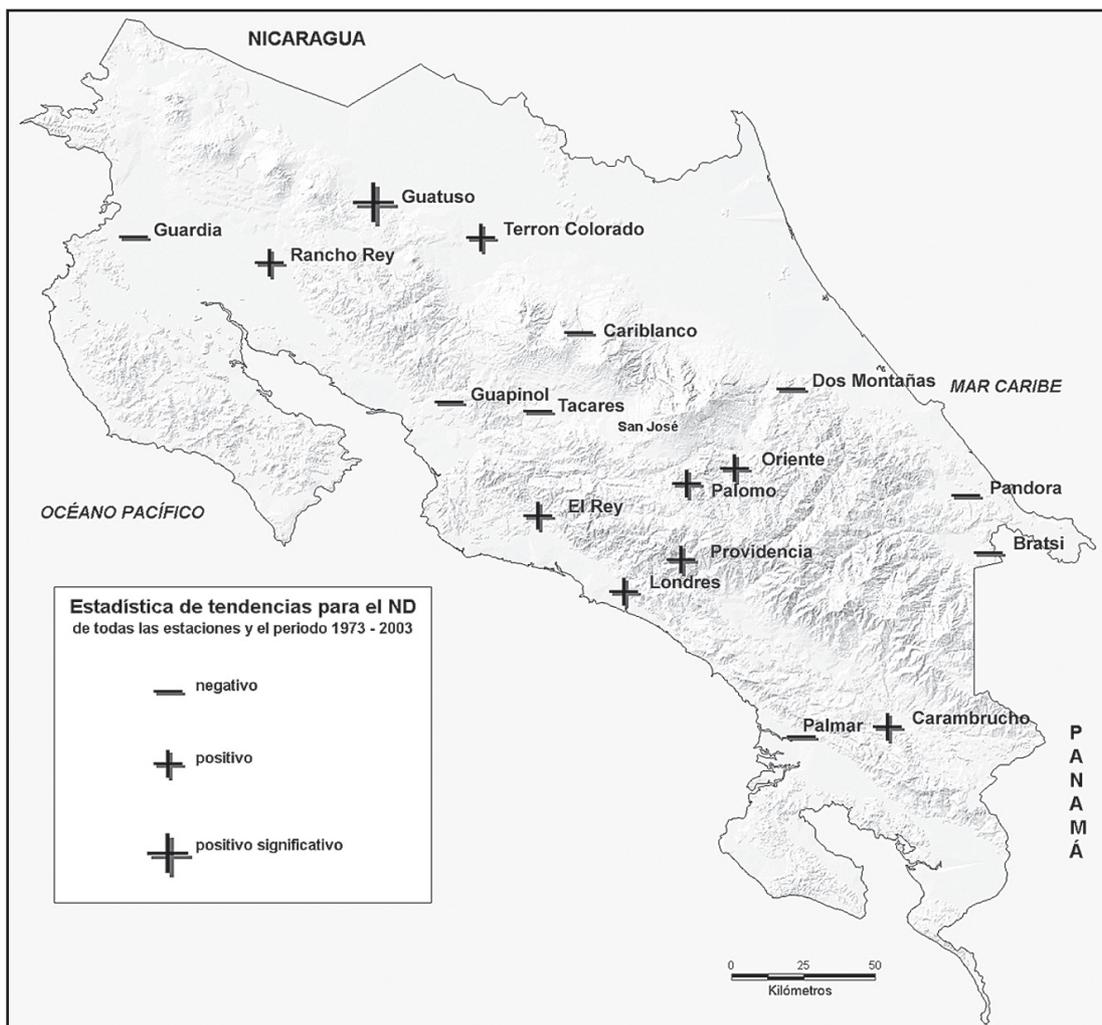


Figura 5. Tendencia en la frecuencia (ND) de series de sequía para el periodo 1973-2003.

Conclusiones

El objetivo concreto de este estudio fue realizar un análisis de tendencias para estudiar si la sequía hidrológica en Costa Rica se ha vuelto más frecuente y severa. La disponibilidad de 17 estaciones fluviométricas con datos diarios de caudales garantizó la definición de eventos de sequía a través del método del umbral para obtener una base de datos de parámetros que indican periodos extremadamente secos para toda la variabilidad climática, fisiográfica e hidrológica de Costa Rica.

Dichos parámetros de sequía en un período de 30 años se utilizaron para calcular las estadísticas no paramétricas según Mann - Kendall. Aunque para todo el país no se hallaron tendencias significativas, se puede notar claramente un patrón espacial.

En la Zona Norte, dos de tres estaciones manifiestan una tendencia significativa ($\alpha = 0,05$) en términos de severidad y frecuencia, mientras que el Pacífico Central presenta solamente una tendencia positiva hacia un aumento en la severidad y frecuencia de sequías. La cuenca del río San Carlos con la estación Terron Colorado se ve afectada por la construcción de varios pequeños proyectos hidroeléctricos en los años 90, que regulan el flujo natural del río, y esto se puede explicar en el resultado. El Caribe tiende claramente hacia una frecuencia disminuida. Estos resultados generalmente coinciden con la percepción de que el fenómeno de sequía se extiende hacia regiones sin o con poca experiencia de sequías (Birkel y Demuth, 2006); sin embargo, hay que considerar que la detección de tendencias depende fuertemente de las series de datos seleccionados para el análisis y la definición de los parámetros de sequía.

La importancia del aspecto temporal para el análisis no se puede demostrar por la escasez de series de sequía prolongadas, pero se ha presentado en varias publicaciones: Hisdal, Stahl, Tallaksen y Demuth (2001). Dichos autores discuten las causas posibles para un cambio en la severidad y la frecuencia de sequías en Europa. Esto se puede relacionar, por ejemplo, con un cambio en el patrón de precipitaciones y con

influencias artificiales indirectas en las cuencas.

Todavía no existen estudios de este tipo para Costa Rica, pero las causas en la tendencia de sequías en Costa Rica se pueden considerar comparables a las de Europa. De hecho, Hisdal, Stahl, Tallaksen y Demuth (2001) descubren en su análisis de tendencias en Europa resultados similares a los resultados del MK para Costa Rica, de forma que muy pocas cuencas reflejan un resultado significativo, pero se encuentra un comportamiento regional muy claro.

Para concluir, una tendencia de sequía hacia un aumento o una disminución en la severidad o la frecuencia basada en un período relativamente corto, puede resultar ser parte de una fluctuación climática natural de largo plazo, o de una influencia humana de corto plazo.

Así, las tendencias en series de sequías no pueden tomarse como una prueba de un cambio climático artificialmente inducido, pero sí para hallar cambios en el comportamiento hidrológico correspondiente al período de estudio.

Bibliografía

- Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe - Mitigación del Impacto Regional de Sequías en Europa, ARIDE 2005. Tipos de sequía. www.uni-freiburg.de/forsch/aride.
- Comisión Económica Para América Latina y el Caribe - CEPAL 2005: Impacto económico de las sequías. www.eclac.org/estadisticas.
- Birkel, C. y S. Demuth. 2006. Drought in Costa Rica – Temporal and spatial variability, trends and its relationship to atmospheric circulation. International conference on FRIEND, Havana, Cuba, IAHS Red Book (aceptado).
- Demuth, S. y B Heinrich. 1997. Temporal and spatial behaviour of drought in south Germany. Proceedings of the 3rd International conference on FRIEND, 1-4 Oct. 1997, Postojna, Slovenia, IAHS Publ., 246, 151-157.

- Dettinger, D. M.; D.R. Cayan; G.J McCabe y J. A. Marengo 2000 Multiscale streamflow variability associated with El Niño/Southern Oscillation 113-146. In H.F. Diaz y V. Markgraf (eds.) El Niño and the Southern Oscillation-Multiscale variability and Global and Regional Impacts. Cambridge University Press.
- Flores Silva, E. (1979): Geografía de Costa Rica, EUNED 3rd edition, 2004, San José, Costa Rica.
- Glantz, M., R. Katz. y N. Nicholls. 1991. Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies. Cambridge University Press, Cambridge.
- Guilcher, A. 1965. Précis d'Hydrologie: marine et continentale. Masson, Paris. 2^a edición.
- Hisdal, H., K. Stahl; L.M. Tallaksen y S. Demuth, S. 2001. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? International Journal of Climatology, 21: 317-333.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. A report of the working group II of the Intergovernmental Panel on Climate change.
- Jakubowski, W. y L. Radezuk. 2003. Estimation of Hydrological Drought Characteristics, software NIZOWKA. Agricultural University of Wroclaw. En M. L. Tallaksen y A. J. H. van Lanen (eds.) Hydrological Drought - Processes and Estimation Methods for Groundwater and Streamflow. Developments in Water Sciences No. 48, Elsevier, The Netherlands.
- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.
- Libiseller, C. y A. Grimvall. 2002. Performance of Partial Mann Kendall Tests for Trend Detection in the Presence of Covariates, Environmetrics 13, 71-84.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric Tests against Trend. Econometrica 13, 245-259.
- National Drought Mitigation Center – Centro Nacional de la Mitigación de Sequías, NDMC (2005):www.drought.unl.edu.
- Piechota, T.C. y J.A Dracup. 1996. Drought and regional hydrologic variation in the United States: Associations with the El Niño-Southern Oscillation. Water Resources Research, 32, 1359-1373.
- Ramírez, P. 1992. Descripción de Situaciones Climática que pueden producir Desastres en Costa Rica. Revista Geográfica de América Central. N°25-26. I y II Semestres de 1992, pp. 153-169.
- Retana, A.J. 2003. Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica con base en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: seco, normal y lluvioso. IMN Costa Rica, Boletín climatológico.
- Ropelewski C. F. y M.S Halpert 1996. Quantifying Southern Oscillation
- Precipitation relationships, J. of Climate, 9, 1043-1059.
- Svensson, C; Z.W Kundzewicz y T. Maurer. 2004. Trends in flood and low flow series. Report 33, GRDC Report Series, Koblenz, Germany.
- Tallaksen, M. L. y A.J. H. van Lanen. 2004. Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Groundwater and Streamflow. Developments in Water Sciences No. 48, Elsevier.
- Tallaksen, L.M. y H. Hisdal. 1997. Regional analysis of extreme streamflow drought duration

and deficit volume. Proceedings of the 3rd International conference on FRIEND, 1-4 Oct. 1997, Postojna, Slovenia, IAHS Publ., 246, 141-150.

Watson, R.T., M.C. Zinyowera y R.H. Moss . (eds.) 1998. The Regional Impacts of Climate

Change: An Assessment of Vulnerability. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Zelenhasic, E. y A. Salvai. 1987. A method of streamflow drought analysis. Water Resour. Res. (23, 1), pp. 156-168.