

CARACTERIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LOS LLANOS DE VENEZUELA

SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERIZATION OF THE METEOROLOGICAL DROUGHTS IN THE PLAINS OF VENEZUELA

Recibido: 15-12-2008 / Aceptado: 13-02-2009

Franklin Paredes¹, Jorge Millano², Luís Rumbo¹ y

Freddy La Cruz¹

¹ Grupo para investigaciones sobre cuencas hidrográficas y recursos hidráulicos del Programa Ingeniería.

franklinparedes75@gmail.com

² Ing. Civil. MSc. Ingeniería Ambiental. Programa Ingeniería. Área: Mecánica de Suelos.

RESUMEN

La sequía ocurre cuando las lluvias disminuyen o cesan durante varios días, meses o años. En los últimos años, Los Llanos venezolanos ha presentado varias sequías meteorológicas, ocasionando fallas en los sistemas de abastecimiento de agua e impactando negativamente los sectores agrícola y pecuario. Con la finalidad de conocer el comportamiento de este fenómeno y confrontar sus impactos, se efectuó una caracterización del régimen espacial y temporal de las sequías meteorológicas en Los Llanos en base a los registros disponibles en 50 estaciones pluviométricas operadas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MinAmb) para el período 1961-1996, distribuidas en los estados Apure, Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa, Barinas y Guárico. La magnitud inter-anual del período seco se estimó con una adaptación del Índice de Precipitación Estandarizada de McKee. Se determinó la dispersión espacial, frecuencia, espaciamento temporal, duración y extensión de los periodos secos interanuales. Los años con las temporadas secas más severas fueron 1974, 1984 y 1989. La ocurrencia de sequías no sigue un patrón espacio-temporal definido. Se observa un aumento en ocurrencia de eventos secos muy extremos. Se identificó 3 subregiones homogéneas según la severidad del periodo seco. Las sequías probablemente se intensifican en función de la orografía. Las sequías más severas y de mayor extensión superficial, coinciden con la ocurrencia de un fuerte evento "La Niña" y un Atlántico Norte con temperaturas medias inferiores a 25 °C durante el bimestre febrero-marzo.

Palabras claves: *sequías meteorológicas, la niña, sequia.*

SUMMARY

The drought happens when the rains diminish or cease during several days, months or years. In the last years, "Los Llanos" presented several meteorological droughts, causing fails in the systems of supply of water and impacting negatively the sectors agricultural and cattle. We become a characterization of the behavior spatial and temporal of the meteorological droughts in "Los Llanos". We used the registrations of 50 rain gage of the Ministry of the Popular Power for the Environmental (MinAmb) for the period 1961-1996, distributed in the states Apure, Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa, Barinas and Guárico. The annual magnitude of the dry period was calculated using a variant of the Index of Standardized Precipitation of McKee. The spatial dispersion, the frequency, the duration and the extension of the dry periods was determined annually. The years with seasons dry more severe were 1974, 1984 and 1989. The occurrence of the droughts in the region doesn't have a spatial pattern and temporal defined. There is an increase in the occurrence of dry period very extreme. It was identified 3 homogeneous regions according to the severity of the dry period. The droughts are probably intensified by the orography. The droughts most severe and of more extension superficial happen when occur a strong event "The Niña" and the Ocean Atlantic North have a temperature inferior to 25 °C during February-March.

Key words: *meteorological droughts, La niña, drought.*

INTRODUCTION

Los Llanos es una extensa planicie aluvial de topografía plana, ubicados entre la desembocadura del río Orinoco en el Oriente y la Cordillera Andina en el Occidente de Venezuela. Abarcan unos 250.000 km² distribuidos entre los estados Apure, Barinas, Guárico, Portuguesa, Cojedes y Anzoátegui. Esta unidad fisiográfica posee un Clima Tropical Lluvioso (Aw), con una estrecha franja semiárida (BS) al Noroeste del estado Anzoátegui.

La sequía es un fenómeno natural que ocurre cuando la magnitud de las lluvias es considerablemente menor a los valores normales registrados (ONU, 1994). Se categorizan según su duración e impacto en meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas (Wilhite y Glantz, 1985). Si las condiciones meteorológicas prevalecientes ocasionan: incremento de la temperatura, reducción de la humedad atmosférica, aumento de la insolación, disminución de la nubosidad, incremento de la evapotranspiración y recarga insuficiente de acuíferos, sobreviene una sequía meteorológica (National Drought Mitigation Center, 1995). Existen varios índices para identificar la ocurrencia de un evento seco. En este trabajo se utiliza el Índice Estandarizado de Precipitación [SPI, Standardized Precipitation Index] desarrollado por McKee *et al.* (1993).

En Venezuela, las investigaciones orientadas a la caracterización de sequías meteorológicas son recientes. Martelo (2004), encontró que anomalías extremas en ciertas variables macroclimáticas se relacionan con la ocurrencia de severas sequías y lluvias torrenciales. Un Océano Pacífico caliente provoca temporadas secas muy secas; si está frío, épocas secas muy lluviosas. El Atlántico Tropical Norte caliente produce temporadas lluviosas más lluviosas que lo normal; si está frío, temporadas lluviosas con montos pluviométricos pequeños.

Cárdenas *et al.* (2002) y Millano *et al.* (2007) encontraron el mismo comportamiento en varias regiones del país. Recientemente, Ovalles *et al.* (2007) utilizaron dos Modelos de Circulación General, uno de ellos predice una disminución de la precipitación en la zona Oriental y en el Centro-Occidente del país. El segundo modelo pronostica una disminución y expansión del área con menor precipitación en el Occidente. Estas inferencias concuerdan con las de Martelo (2007) y lo expresado en el informe más reciente del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007a y 2007b).

En Llanos se encuentra la mayor producción agrícola de Venezuela. Las principales unidades de producción de maíz, arroz y sorgo del país están localizadas en esta región. Cuando las lluvias disminuyen o cesan durante varios días o meses, ocurren severos daños en la producción, afectando el mercado de los cereales y subproductos. La mayor parte de las pequeñas unidades de producción no tienen acceso a sistemas de riego por lo que están obligados a cultivar en secano (MAT, 2008). Por las consideraciones expuestas y con la finalidad de confrontar mejor el fenómeno de las sequías, surgió la necesidad de estudiar el régimen que las caracteriza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Unidad de estudio

La Unidad de Estudio [UE] abarca los Llanos de Venezuela, cuatro subregiones del Pacífico Meridional: Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, y dos zonas del Atlántico, que se denominan en lo sucesivo Atlántico Subtropical Norte (5-20°N, 60-30°W) y Atlántico Subtropical Sur.

Fases de la investigación

Fase I. Selección de estaciones pluviométricas: se seleccionaron para el análisis los registros de 50 estaciones pluviométricas operadas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MinAmb), ubicadas en los Llanos, que cumplen con los siguientes criterios: 1) más de 30 años de registros continuos; 2) no más de 2% de datos mensuales faltantes; 3) no más de 10% de registros anuales incompletos; 4) series anuales homogéneas según la prueba de Easterling *et al.* (1996). La muestra quedó

conformada por 1 estación en Apure, 10 en Anzoategui, 6 en Cojedes, 15 en Portuguesa, 7 en Barinas y 11 en Guarico. El alcance temporal se extiende de 1961 a 1996, por ser el lapso común de la muestra.

Fase II. Cálculo del SPI modificado anual: para cada mes se determinó el valor acumulado trimestral, incluyendo los registros mensuales de los dos meses anteriores, obteniéndose así, 12 subseries en cada estación. Se estimó los parámetros α y β de la Distribución de Probabilidad Teórica Gamma [DPTG] asociada a cada una de esas 12 series de precipitación acumulada. La función de densidad de probabilidad de la DPTG está dada por la ecuación (1).

$$f(x; \alpha; \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Donde: x es el registro acumulado trimestral expresado en mm, α y β son los parámetros característicos de la distribución.

La probabilidad de que el acumulado trimestral en un mes cualquiera, en una subserie, sea menor o igual al registro existente, se representa como $F(x)$ y se calcula como sigue.

$$F(x) = \int_0^x f(x; \alpha; \beta) \alpha x \quad (2)$$

Para estimar los parámetros α y β de la ecuación (1), se utilizó la metodología propuesta por Campos (2005). Los registros nulos en las subseries mensuales imposibilitan el cálculo de $F(x)$, por lo tanto, se empleó la Función Gamma Mixta (FGM) propuesta por Thom (1971), como sigue:

$$H(x) = q + p \cdot F(x) \quad (3)$$

Donde: q es la probabilidad de que se presente un valor nulo en la subserie, p es la probabilidad de que no se presente un valor nulo en la subserie [$p = 1 - q$], $H(x)$ es la probabilidad de no excedencia del registro.

Una vez determinado $H(x)$ para cada registro, en cada subserie mensual, se estimó el valor Z que le corresponde, considerando que la probabilidad de no excedencia de $H(x)$, proviene de una distribución

normal con media cero y desviación estándar igual a 1. El valor Z así estimado constituye el **SPI3**.

Para calcular la magnitud del periodo seco durante un año cualquiera (**DM**) en una estación, se empleó una variante del método original propuesto por Edwards y McKee (1997). Se acumularon los SPI3 mensuales cuya magnitud era igual o inferior a -1, cuando el **SPI3** era mayor a -1 se sustituyó por un cero. Bajo este enfoque, un valor de **SPI3** > -1 indica una condición normal o húmeda. Después de calcular los valores **DM** en todas las estaciones durante el periodo 1961-1996, se identificó los **DM** extremos, máximo y mínimo. En base a los extremos, se desarrolló y aplicó la siguiente categorización: 1) moderadamente seco: $DM = 5.89$; 2) severamente seco: $5.89 < DM = 11.80$; y 3) extremadamente seco: $DM > 11.80$.

Fase III. Distribución espacial de los DM intranual: para visualizar la dispersión espacial, la frecuencia, el espaciado temporal, la duración y la extensión de los periodos secos año a año durante el periodo temporal común se empleó un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Fase IV. Identificación de zonas propensas a sufrir periodos secos: Por medio del SIG se generó un mapa que indica las locaciones con mayor frecuencia de aparición de periodos secos extremos.

Fase V. Zonificación de la UE en cuanto a la severidad de los periodos secos: tomando como variable clasificatoria la **DM** en las estaciones, se aplicó un análisis clúster jerárquico. El método de Ward se usó como regla de aglomeración y la distancia euclidiana como criterio de distancia. La relación entre la distancia de agrupación (**D**) y la distancia máxima de agrupación (**Dmax**) fue el criterio utilizado para identificar un clúster; un grupo cuya relación $D/Dmax$ en el dendograma fuese mayor o igual al 80% conforma una región homogénea. Después de calcular los valores **DM** en todas las estaciones durante el periodo 1961-1996, se identificó los **DM** extremos, máximo y mínimo. En base a los extremos, se desarrolló y aplicó la siguiente categorización: 1) ligeramente seco: $DM = 3.54$; 2)

moderadamente seco: $3.54 < DM = 7.08$; 3) seco: $7.08 < DM = 10.62$; 4) severamente seco: $10.62 < DM = 14.16$; y 5) extremadamente seco: $DM > 14.16$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dispersión espacial, frecuencia, espaciamento temporal, duración y extensión de los periodos secos en los Llanos de Venezuela en el periodo 1961-1996.

En 1961, 1964, 1984, 1989 y el trienio 1973-1975, más del 30% de las estaciones presentan un periodo seco “severamente seco” o “extremadamente seco”. Para 1974, 1984 y 1989 cerca del 10% tienen una temporada seca “extremadamente seco”. Durante 1975, 1984 y 1989 el periodo seco “extremadamente seco” fue antecedido por años donde los eventos “moderadamente seco” tendían a disminuir. Los periodos secos más extremos son precedidos por un enfriamiento de las aguas superficiales del Atlántico Subtropical Norte en febrero-marzo, y la ocurrencia de un episodio “La Niña” (Figuras 1 y 2). La dispersión y extensión de los periodos secos extremos no muestran un patrón espacial específico, tienden a ser aleatorio. El enfriamiento de las aguas superficiales del Atlántico Subtropical Norte probablemente se deba a una situación meteorológica sinóptica. El anticiclón de Las Bermudas quizás se desplaza hacia el Ecuador más de lo normal, afectando los niveles troposféricos medios y altos e inhibiendo la formación de nubes de gran desarrollo vertical. En 1974, la presión atmosférica fue ligeramente superior al promedio en la zona centro-costera venezolana, sugiriendo la existencia de una banda de alta presión. Esta situación ocurre al momento que los Alisios son tornan secos. En 1974 los Alisios en la zona centro-costera tenían una humedad relativa inferior a la media.

Zonas más propensas a sufrir periodos secos extremos en los Llanos de Venezuela

La mayor frecuencia de periodos “extremadamente secos” se da en Tinaco, Cojedes y Clarines, Anzoátegui. Destacan dos aspectos: 1) Clarines tiene eventos más severos que Tinaco; 2) se observa un incremento en la ocurrencia de sequías severas en ambas localidades. Es normal que los periodos secos sean severos en Clarines por ser una zona semiárida, pero atípico en Tinaco, debido a su Clima Tropical

Lluvioso (Aw). Desde 1980 incrementó el número de estaciones con periodos “extremadamente secos”.

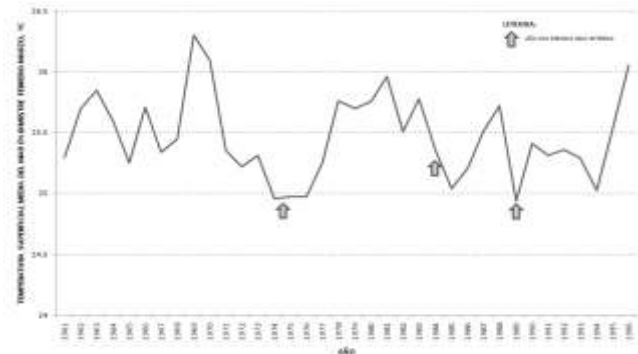


Figura 1. Temperatura superficial del Atlántico Norte en febrero-marzo. Período 1961-1996.

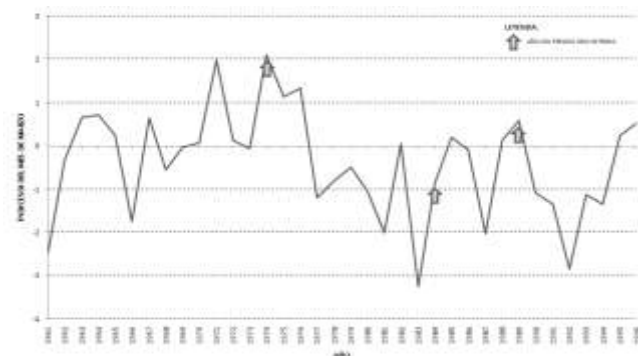


Figura 2. Índice de Oscilación Sur en el Océano Pacífico durante marzo. Período 1961-1996.

Zonificación de los Llanos de Venezuela en función de la severidad del periodo seco

Se identificó 10 subregiones geográficas (Figura 3). Los periodos secos interanuales de mayor severidad son más frecuentes en la subregión UH2-C seguida en orden de magnitud por las subregiones UH1-C, UH2-D y UH2-E. La subregión UH1-C tiene la mayor frecuencia de ocurrencia de temporadas secas extremas. Estas subregiones tienen características particulares: 1) La subregión UH1 no está claramente definida. Las estaciones tienden a concentrarse entre el noreste del estado Guárico y el extremo noroeste del estado Anzoátegui. Cerca del 40% de sus estaciones están a una altitud mayor o igual a 200 msnm. 2) La subregión UH2 forma cuatro conglomerados. El primero, es un polígono irregular que va del poblado Santa Rosa en el centro-oeste del estado

Anzoátegui hasta el sector Orituco en el estado Guárico (UH2-A). El segundo, cubre gran parte del estado Cojedes, flanco Oeste del estado Guárico y borde Este del estado Barinas (UH2-B). El tercero, es un estrecho corredor entre Altamira de Cáceres y Santa Lucía, ambos en el Barinas (UH2-C). El cuarto, se encuentra en una depresión localizada en las cercanías de Barinitas, en el estado Barinas (UH2-D). El quinto, es una zona costera en las inmediaciones de Puerto Piritu en el estado Anzoátegui (UH2-E). 3) La subregión UH3 desde el punto de vista espacial, es la mejor definida. Las estaciones están aglutinadas en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes. Se extiende desde San Rafael de Onoto en Portuguesa hasta el sector Corozo-Palmita en Barinas.

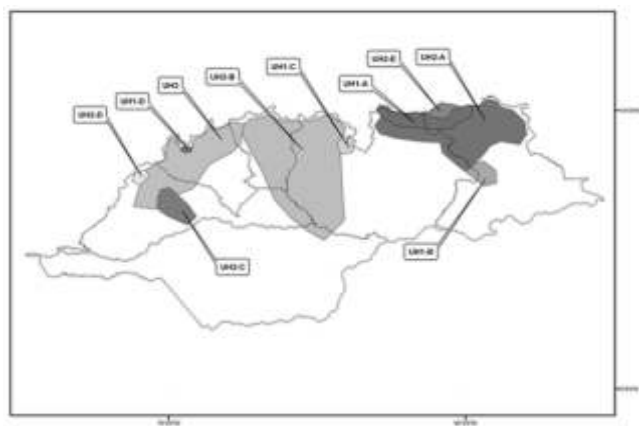


Figura 3. Subregiones en Los Llanos de acuerdo a la severidad de la temporada seca.

CONCLUSIONES

- Las sequías en los Llanos de Venezuela no presentan un patrón espacio-temporal definido.
- Los años con periodos secos muy extremos han aumentado su frecuencia de ocurrencia.
- Existe una relación inversamente proporcional entre la severidad de las sequías meteorológicas y la temperatura superficial del Atlántico Norte, y directamente proporcional con el índice SOI durante el mes de marzo.
- Las sequías más extremas coinciden con la ocurrencia simultánea de “La Niña” y un Atlántico Norte con temperaturas medias inferiores a 25 °C durante el bimestre febrero-marzo. Esta situación sugiere la existencia de teleconexiones.
- La severidad del período seco en los Llanos de Venezuela guarda una estrecha relación con la orografía, especialmente en las locaciones situadas en el piedemonte andino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campos D. 2005. *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Editorial Trillas, pp. 267-282.
- Cárdenas P., García L. y Gil, A. 2002. *Impacto de los eventos El Niño Oscilación del Sur en Venezuela*. Corporación Andina de Fomento. 130 pp.
- Easterling R., Peterson C. and Karl T. 1996. *On the development and use of homogenized climate data sets*. Journal of Climate, Vol. 9, pp. 1429-1434.
- Edwards D. y McKee T. 1997. *Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales*. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins. Colorado
- IPCC. 2007a. Climate Change. 2007. *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- IPCC. 2007b. *Climate Change 2007*. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.
- Martelo M. 2004. *Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela*.

- Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de Ingeniería Agrícola. Ponencia en VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola, Maracay-Venezuela.
- Martelo M. 2007. *Cambio Climático y Alternativas Agrometeorológicas*. Conferencia presentada en I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela
- MAT [Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras]. 2008. Presentado balance del Plan Integral de Desarrollo Agrícola 2007-2008. Boletín Nacional N° 21 del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras.
- McKee T., Doeksen N. y Kleist J. 1993. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints 8th Conference on Applied Climatology 17-22, Anaheim (California, EE.UU.), pp. 179-184.
- Mendoza N. y Puche M. 2005. *Evaluación de los eventos de sequía meteorológica en Venezuela: período 1950-1998*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de Ingeniería Agrícola. 195 p
- Millano J., Paredes F. y Vivas I. 2007. *Efecto de la Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes*. Revista Agrollanía Vol. 4
- National Drought Mitigation Center [NCDC]. 1995. *Understanding and Defining Drought [En línea]*. Página web, Lincoln (Nebraska): National Drought Mitigation Center. University of Nebraska. <<http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/def2.htn-i>>. Actualización 15 de noviembre de 1995. [Consulta, 27 de septiembre de 1996].
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. 1994. *Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países afectados por Sequía Grave o desertificación, en Particular en África*. Doc. A/AC.241/15/Rev 17. Paris.
- Ovalles F., Cortez A., Rodríguez M., Rey J. y Cabrera-Bisbal E. 2007. *Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela*. Ponencia presentada en I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela.
- Thom H. 1971. *Some methods of climatological analysis*. Nota técnica N° 81. OMM N° 199. TP. 103. Secretaría de la OMM. Ginebra, Suiza pp. 1-11
- Wilhite D. y Glantz M. 1985. *Understanding the drought phenomenon; the role of definitions*. Water International. vol. 10 pp. 111-120