

# CARACTERÍSTICAS ESPACIALES Y TEMPORALES DE LAS SEQUÍAS EN EL ESTADO COJEDES DURANTE EL PERÍODO 1950-2005

(Spatio-temporal features of droughts in the Cojedes State during the 1950-2005 period)

Ivis Quiroz<sup>1</sup> y Franklin Paredes<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>UNELLEZ - San Carlos, Cojedes. Venezuela

ivisquirozruiz@gmail.com; [franklinparedes75@gmail.com](mailto:franklinparedes75@gmail.com)

Recibido: 19-02-2015 / Aceptado: 24-04-2015

## RESUMEN

Las sequías son un fenómeno natural que afecta Los Llanos venezolanos causando fuertes impactos sobre los sectores agrícolas y de abastecimiento hídrico, entre otros. El estado Cojedes es particularmente susceptible a estos eventos pues su economía y fuentes hídricas de aprovisionamiento dependen de la ocurrencia oportuna de lluvias. Sin embargo, las características espaciales y temporales de este fenómeno en el territorio cojedeño no han sido estudiadas en detalle, razón por la cual fue el objetivo general del presente estudio. Se usaron las series pluviométricas de 25 estaciones situadas dentro o cerca de dicho territorio para estimar el índice de precipitación estandarizado a escala trimestral (SPI3) durante el periodo 1950-2005. A partir del SPI3 se estimaron la ubicación de las sequías locales más intensas y su cobertura, así como la evolución de ambas variables a escala mensual. Entre los resultados destacan: i) después del año 2000, las sequías aumentaron su recurrencia y persistencia en la temporada de lluvias; ii) la sub-región del estado Cojedes situada al norte del paralelo 9.5° es propensa a la ocurrencia de sequías extensas y severas.

**Palabras clave:** estado Cojedes, Los Llanos, sequía, variabilidad climática

## SUMMARY

Droughts are a natural phenomenon that affects to the Venezuelan Plains causing severe impacts over the rain-fed and water supply sectors, among others. In particular, Cojedes is highly susceptible to these events because its agricultural activity and the water supply sources depend of occurrence of enough rainfalls. However, the spatial and temporal features of the droughts have not been studied in detail previously; therefore it has been the main purpose of the current study. The monthly rainfalls series from 25 rain-gauges located into or nearby to this territory were used. The standardized precipitation index with a 3-months scale time (SPI3) during the 1950-2005 period was used as drought index. The SPI3 time series were used to estimate the position of dry core of the droughts more intense and its spatial extension. In addition, the monthly evolution of both variables was estimated

and analyzed. Among more remarkable results we found: i) the droughts increased their recurrence and persistence throughout the rainy season, after of the year 2000; ii) the sub-region located northward of 9.5° is more susceptible to the incidence of severe and extensive droughts than its south opposite.

**Keywords:** Cojedes state, Venezuelan Plains, drought, climate variability

## **INTRODUCCIÓN**

La sequía es un fenómeno transitorio asociado a la variabilidad natural del clima, que se produce cuando la cantidad total de precipitación es persistentemente inferior a lo esperado en una región y un periodo determinados (Wilhite, 1993). De acuerdo a su persistencia, se distinguen cuatro tipos de sequías, que se suceden como sigue: i) meteorológica: un déficit prolongado de lluvias causa una disminución de la escorrentía e infiltración; ii) agrícola: la sequedad del suelo afecta el crecimiento de las plantas. Cuando esta condición coincide con la fase de germinación y/o crecimiento de los cultivos, sus rendimientos disminuyen; iii) hidrológica: durante su ocurrencia, el aporte de los ríos no satisface la demanda de los sistemas de riego y/o acueductos que se surten de ellos; iv) socioeconómica: en esta etapa, el déficit hídrico causa severos y complejos impactos sobre la población afectada (Sáez 2003; Fischer et al., 2005; Vicente-Serrano et al., 2010; Paredes et al., 2014). Los efectos socioeconómicos inducidos por las sequías depende de la resiliencia de la población afectada (Rockström, 2003), por tanto, mientras mejor se conozca los factores climáticos precursores de las sequías y su incidencia regional, las políticas que se establezcan para su manejo tenderán a ser más efectiva (Dracup et al., 1980)

El territorio venezolano a lo largo del periodo 1950-98 fue afectado por varias eventos secos de gran cobertura espacial en los años: 1969, 1964, 1973-74 y 1978 (Mendoza y Puche, 2014). La evidencia histórica revela que este fenómeno climático ha sucedido de forma recurrente desde el año 1534 (Peñaloza, 2014), incluso ciertos marcadores paleoclimáticos sugieren la ocurrencia de periodos secos extraordinariamente prolongados en el Golfo de Cariaco y el Lago de Valencia hace 10 000 a 15 000, y 13 000 millones de años, respectivamente (Bradbury et al., 1981; González y Gómez, 2002); por tanto, las sequías deben considerarse un fenómeno frecuente en Venezuela. No obstante, la incidencia de las

sequías no está uniformemente distribuida en el territorio venezolano, por ejemplo, se sabe que en los Llanos Centrales los años anómalamente secos son más frecuentes en los estados Guárico y Anzoátegui (4 a 6 años), mientras que en Cojedes y Portuguesa esta condición, en promedio, se observa al menos una vez cada 6 a 8 años (Paredes et al., 2014). En el caso particular del estado Cojedes, se ha observado que los episodios secos más intensos suelen coincidir con la presencia persistente de la fase caliente del fenómeno oceánico-atmosférico El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) y aguas superficiales más fría que lo normal en el Atlántico Norte (Martelo, 2002; Paredes et al., 2008; Paredes y Guevara, 2013). En general, Los Llanos es una región altamente susceptible a las sequías, pues su actividad económica se sustenta principalmente en la producción agrícola bajo secano (Paredes y Guevara, 2010), además, la mayor parte de los acueductos urbanos y grandes sistemas de riego son surtidos por los ríos que allí se encuentran (Bruzual, 1983; Araujo et al., 1998). Por consiguiente, un periodo seco anómalamente prolongado en esta región suele causar fuertes impactos negativos, como ha venido siendo evidente en los sectores agrícola bajo secano, hidroeléctrico y de abastecimiento hídrico en años recientes (Arndt et al., 2010; Blunden y Arndt, 2014). A diferencia de los estudios previos, el propósito de este trabajo fue describir las principales características espaciales y temporales de las sequías en el estado Cojedes.

## **METODOLOGÍA**

*Unidad de estudio y registros pluviométricos empleados:* se seleccionaron 25 pluviómetros administrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), situados dentro o en la periferia del territorio cojedeño, cuyas series de precipitación mensual van desde el año 1950 al 2005 con un porcentaje mensual de registros faltantes menor a 30% (disponibles en: <http://www.inameh.gob.ve/mensual/index.php>). La región rectangular encerrada por estos pluviómetros, en lo sucesivo se denomina unidad de estudio (UE; 69.19-67.55° Oeste; 8.99-10.18° N). Cualquier observación  $a_{ijk}$  fuera del rango,  $m_{ik} \pm 3.5 s_{ik}$ , fue considerada atípica, para cada  $i$  mes ( $i = 1 \dots 12$ ),  $j$  año ( $j = 1950 \dots 2005$ ), y  $k$  pluviómetro ( $k = 1 \dots 25$ ). Una observación atípica o secuencialmente repetida fue tratada como un registro faltante. Estos últimos se reemplazaron por la mediana calculada al tomar en cuenta los diez meses

más similares al mes donde ocurrió el registro faltante usando la distancia euclidiana entre casos (meses) estandarizados como métrica de similitud (Torgo, 2003). Los análisis subsecuentes se aplicaron a las 25 series pluviométricas resultantes.

*Métodos:* cada serie pluviométrica se transformó al índice de precipitación estandarizada con escala trimestral (en lo sucesivo SPI3, por sus siglas en inglés), para ello se calculó la suma móvil de la precipitación trimestral, seguido cada sub-serie mensual se ajustó a una distribución gamma de dos parámetros ( $\alpha$  y  $\beta$ , forma y escala) aplicando el método de máxima verosimilitud (Sheldon, 2014), luego se estimó la probabilidad acumulada de cada caso usando una distribución gamma incompleta, por último se determinó el valor z de dicha probabilidad acumulada empleando una distribución normal estandarizada; z es el SPI3 (Mendoza y Puche, 2014). La escala trimestral permite identificar las sequías que pueden inducir un déficit de humedad en el perfil superior del suelo y por tanto, afectar los cultivos (Narasimhan y Srinivasan, 2005), por esta razón fue seleccionada. Cuando el  $SPI3_{ijk} \leq -1$  para el mes i, del año j, en el pluviómetro k, se consideró la ocurrencia una racha seca.

Se estimó la superficie afectada por las rachas secas en la UE empleando como indicador indirecto al porcentaje mensual de pluviómetros donde se dio esta condición en el periodo 1950-2005. Esta serie fue transformada en anomalía, restando a cada registro el área media mensual afectada por rachas secas; así, una anomalía positiva indica que el área afectada es mayor a la media mensual; una anomalía negativa indica que esta área es menor a dicha media. Para identificar la sub-región de la UE donde las rachas secas tienen mayor incidencia se calculó la posición mensual del centro seco ( $X_{ij}$ ,  $Y_{ij}$ ), formulado como sigue:

$$X_{ij} = \text{sumatoria } (SPI3_{ijk} \times X_k) / \text{sumatoria } (SPI3_{ijk}) \quad (1)$$

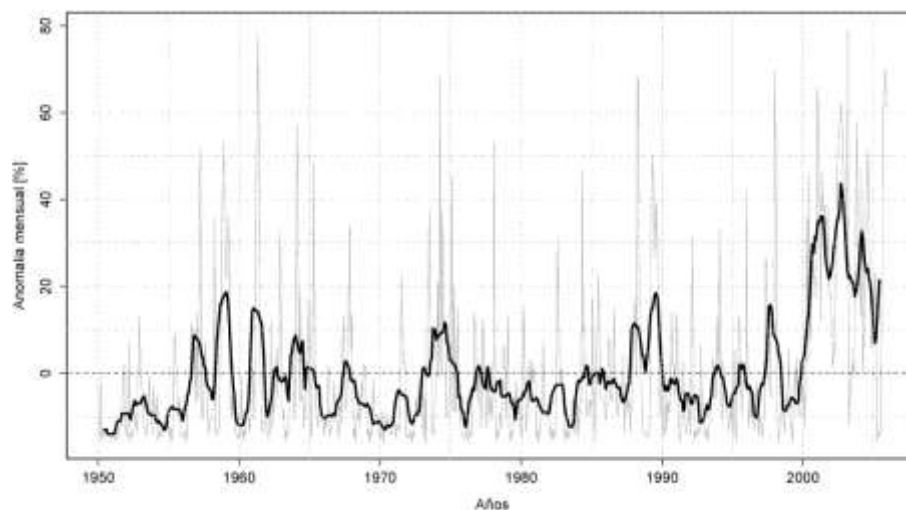
$$Y_{ij} = \text{sumatoria } (SPI3_{ijk} \times Y_k) / \text{sumatoria } (SPI3_{ijk}) \quad (2)$$

Dónde:  $X_{ij}$  e  $Y_{ij}$  son las coordenadas expresadas en grados, del centro seco, para el mes i y año j;  $SPI3_{ijk}$  es el valor del SPI para el mes i, año j y pluviómetro k, sí y solo sí  $SPI3_{ijk} \leq -$

1 (racha seca);  $X_k$  e  $Y_k$  son la longitud y la latitud (coordenadas) expresadas en grados del pluviómetro  $k$ . Bajo este enfoque, el centro seco tiende a estar cerca de los pluviómetros con sequías locales más intensas (SPI3 más negativos). A escala mensual, las rachas secas que afectan más del 25% de la superficie total de UE se denominan rachas secas de gran cobertura; las que tiene un SPI3 promediado  $\leq -2$ , se refieren como rachas severas (el SPI3 promediado, es calculado usando los SPI3 de los pluviómetros con racha seca).

## PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

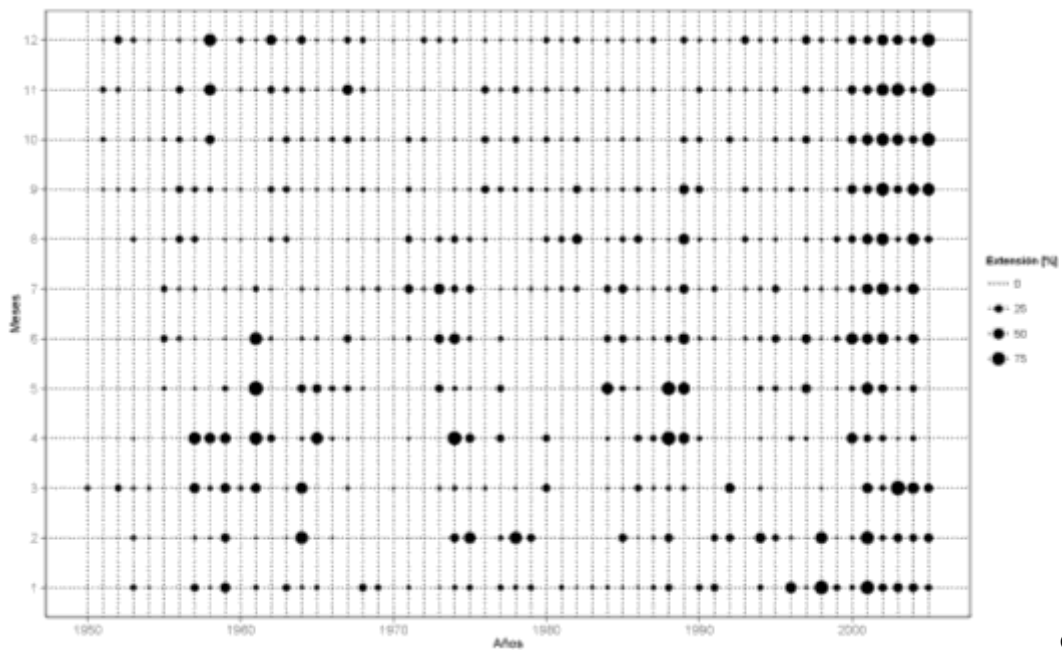
*Evolución temporal del área afectada por sequías en el territorio cojedeño:* la extensión de las rachas secas durante el periodo 1950-2005 mostraron una alta variabilidad mensual e interanual, aunque la ocurrencia persistente de sequías anómalamente extensas en el sub-periodo 2000-2005 fue notable (Fig. 1). Antes de este quinquenio, varias rachas secas de gran cobertura fueron observadas en 1957-58, 1975 y 1988-89, sin embargo, el intervalo inter-rachas es mayor al percibido después del año 2000.



**Figura 1.** Porcentaje de la UE afectada por rachas secas expresado como anomalía mensual para el periodo 1950-2005 (línea de color gris). La línea negra gruesa es una media móvil de 12 meses.

Un análisis más detallado a escala mensual revela que las rachas secas de gran cobertura solían ocurrir esporádicamente durante la estación húmeda de la UE (la cual va de junio a noviembre, según Hernández (2008)) y no persistían más de tres meses (excluyendo el año 1989), sin embargo, la Fig. 2 evidencia que a partir del año 2000, estos eventos mostraron una inusual persistencia en esta temporada, lo cual guarda correspondencia con el severo déficit de precipitaciones en Los Llanos venezolanos referida para este periodo por Peñaloza (2014). En un contexto general, se observaron que: i) las rachas de gran cobertura son más frecuentes en abril, febrero y diciembre; ii) las rachas severas predominan en agosto, septiembre y noviembre; iii) la probabilidad de ocurrencia, para cualquier mes, de una racha seca de gran cobertura es igual a 9.38%, mientras que una racha severa es de 10.34%.

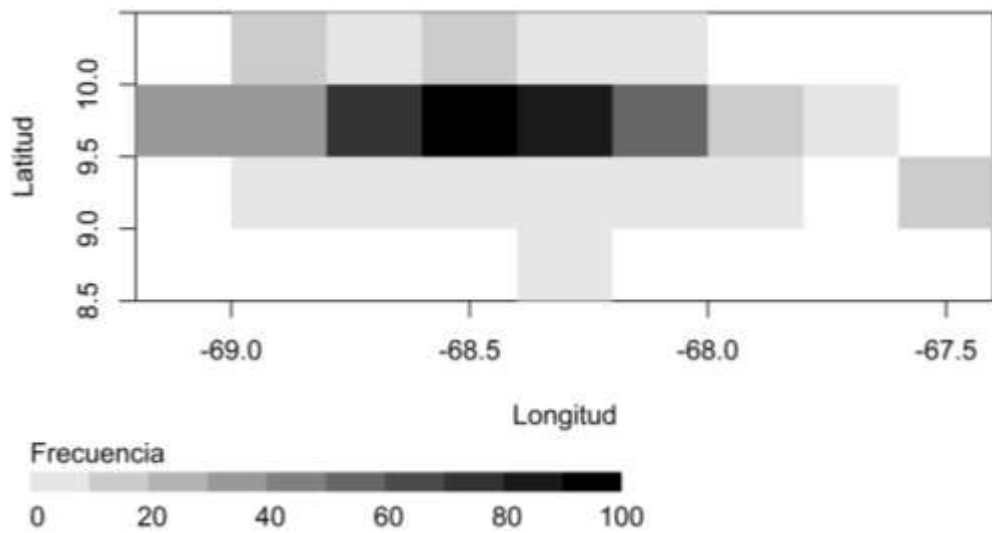
*Subregión del territorio cojedeño con mayor incidencia de rachas secas:* las rachas secas más intensas fueron marcadamente recurrentes en el corredor; 69° a 68° Oeste y 9.50° a 10° N (cerca de 6 200 km<sup>2</sup>; Fig. 3). Por otro lado, aquellas observadas durante la temporada de lluvias (junio a noviembre) antes del año 2000 no mostraron un patrón de incidencia bien definido; en contraste, las que sucedieron entre los años 2000 y 2005, se concentraron, en gran medida, en la parte media d



e la

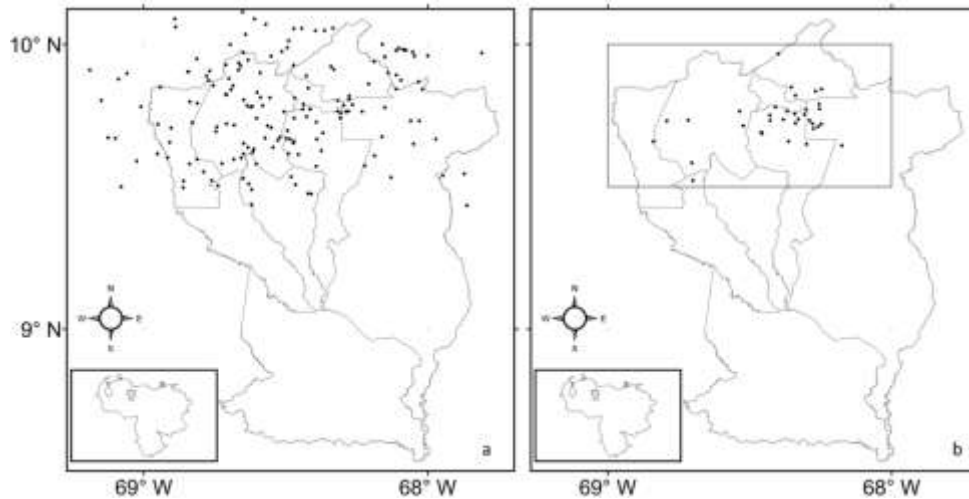
cuenca del río Tinaco (Fig. 4a y 4b).

**Figura 2.** Porcentaje de la UE afectada por rachas secas agrupado mensualmente para el periodo 1950-2005.



**Figura 3.** Posición mensual del centro seco en la UE para el periodo 1950-2005.

En resumen, los aspectos más relevantes son: i) el aumento de la recurrencia y persistencia de las rachas secas durante la estación lluviosa en la UE en el periodo analizado, podría haber causado la disminución de la oferta hídrica observada en los ríos Tinaco y Macapo, entre otros; ii) los municipios situados al norte del paralelo 9.5° son propensos a la ocurrencia de sequías, situación que parece haberse acentuado después del año 2000.



**Figura 4.** Posición mensual del centro seco entre junio a noviembre para los periodos: a) 1950-2000; b) 2000-05. El límite del corredor seco coincide con el perímetro del rectángulo en b.

## CONCLUSIONES

Las sequías son eventos que ocurren con una marcada irregularidad temporal en el territorio cojedeño. Sus características en el contexto espacial y temporal son complejas, pues pueden presentarse en cualquier mes del año, y llegar a ser anómalamente extensa o concentrada con relación a lo habitualmente observado. Aunque no queda clara la razón, se evidenció que la zona centro-norte del estado Cojedes es más susceptible a la ocurrencia de episodios secos extensos y severos que su contraparte sur.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, F. J., Faria, A., Sanchez, C., Nickel, W., Rivero, Y. y Urdaneta, T. 1998. A drip irrigation strategy for maximizing grapevine water use efficiency in tropical vineyards of Venezuela. In I ISHS Workshop on Water Relations of Grapevines. Resúmen extendido, 117-140.
- Arndt, D. S., M. O. Baringer y M. R. Johnson, Eds., 2010. State of the Climate in 2009. *Bulletin American Meteorology Society* 91 (7): S1–S224.
- Blunden, J., y D. S. Arndt, Eds., 2014: State of the Climate in 2013. *Bulletin American Meteorology Society*. 95 (7): S1–S257.
- Bradbury, J. Platt, B. Leyden, M. Salgado-Labouriau, W. M. Lewis Jr, C. Schubert, M. W. Binford, D. G. Frey, D. R. Whitehead y F. H. Weibezahn. 1981. Late quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela. *Science* 214(18): 1299-1305.
- Bruzual, I. 1983. Feeding habits of whistling ducks in the Calabozo Ricefields, Venezuela, during the non-reproductive period. *Wildfowl*. 34(34): 20-26.
- Dracup, J. A., Lee, K. S. y Paulson, E. G. 1980. On the definition of droughts. *Water Resources Research*. 16(2): 297-302.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N. y Van Velhuizen. H. 2005. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 360(1463): 2067-2083.
- González L. A. y Gómez R. 2002. High resolution speleothem paleoclimatology of northern Venezuela: a progress report. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 36: 27-29.
- Hernández R., A. 2008. Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos Centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Caracas. 216 pp.
- Martelo, M. 2002. Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela." Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía / Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología – Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Maracay. 72 pp.
- Mendoza, N., y Puche, M. 2014. Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 24(4): 661-678.

- Narasimhan, B. y Srinivasan, R. 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*. 133(1): 69-88.
- Paredes, F. J. y Guevara, E. 2013. A probabilistic model for the prediction of meteorological droughts in Venezuela. *Atmósfera* 26(3): 311-323.
- Paredes, F. y Guevara, E. 2010. Desarrollo y evaluación de un modelo para predecir sequías meteorológicas en Los Llanos de Venezuela. *Bioagro*. 22(1): 3-10.
- Paredes, F., La Cruz, F. y Guevara, E. 2014. Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Bioagro*. 26(1): 21-28.
- Paredes, F., Millano, J. y Guevara, E. 2008. Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*. 8: 15-27.
- Peñaloza, M. 2014. El Fenómeno de EL NIÑO en la Historia de Venezuela. In Simposio Anual del Grupo Venezolano de Sociología e Historia de la Ciencia, LXIV Convención Anual de AsoVAC 2014. Resumen disponible en [http://www.saber.ula.ve/bitacora-e/eventos/resumenes\\_simposio\\_lxiv.html#2](http://www.saber.ula.ve/bitacora-e/eventos/resumenes_simposio_lxiv.html#2). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela
- Rockström, J. 2003. Resilience building and water demand management for drought mitigation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(20): 869-877.
- Sáez, K. C. 2003. Impactos socio-ambientales de la variabilidad climática. Las sequías en Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. 19(28): 35-51.
- Sheldon M., R. 2014. *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Fifth edition. Academic Press, Berkeley. 686 pp.
- Torgo, L. 2003. *Data Mining with R: learning by case studies*. Chapman & Hall/CRC, Florida, USA. pp. 52-62.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. y López-Moreno, J. I. 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*. 23(7): 1696-1718.
- Wilhite, D. A. 1993. *Drought assessment, management and planning: theory and case studies*. Springer, USA. 293 pp.