

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA AMENAZA DE SEQUÍAS EN EL SUR DE SUDAMÉRICA

Juan Antonio Rivera^{1,2}, Olga Clorinda Penalba^{2,3}
jrivera@mendoza-conicet.gob.ar

¹Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)

²CONICET

³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA

RESUMEN

El cálculo de amenaza de sequías es una aplicación útil que puede estimarse a través del índice de precipitación estandarizado en distintas escalas temporales. La distribución espacial de los valores de amenaza posee implicancias socio-económicas y puede permitir el desarrollo de mapas de riesgo asociado a las sequías meteorológicas en la región sur de Sudamérica. Para ello, se utilizará el índice de amenaza de sequías, el cual es un indicador recientemente propuesto que se basa en las características espacio-temporales del índice de precipitación estandarizado. El mapa de amenaza de sequías se obtuvo en escala de 3 y 12 meses, y permitió identificar regiones de amenaza baja, moderada y alta. La región central de Argentina y parte de la región patagónica se caracterizaron por poseer una amenaza alta de sequías.

ABSTRACT

The calculation of the drought hazard is a useful application that can be estimated through the standardized precipitation index at different time scales. The spatial distribution of the drought hazard values has socio-economic implications and may allow the development of risk maps associated with meteorological drought in the southern region of South America. For this, the drought hazard index, which is a recently proposed indicator that is based on the spatio-temporal characteristics of standardized precipitation index, is used. The drought hazard map was obtained for time scales of 3 and 12 months and allowed the identification of regions with low, moderate and high drought hazard. The central region of Argentina and part of the Patagonian region were characterized by having a high drought hazard.

Palabras clave: sequía meteorológica, amenaza, sur de Sudamérica.

1) INTRODUCCIÓN

Los impactos de las sequías en la agricultura, la producción de alimentos, la degradación de tierras, el manejo de los recursos hídricos, la economía y la sociedad son evidentes en el sur de Sudamérica (SSA). Siendo éste un fenómeno recurrente en la región, es necesario avanzar en el desarrollo de planes de mitigación y preparación ante esta adversidad, a fin de reducir sus impactos. Una forma de identificar medidas de mitigación apropiadas es mediante el análisis del riesgo de sequías. El concepto de riesgo puede definirse como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperables como resultado de la interacción entre una amenaza y condiciones de vulnerabilidad (Shahid y Behrawan, 2008). Generalmente, el riesgo asociado a las sequías meteorológicas suele definirse como el producto entre la exposición a la amenaza de sequías y la vulnerabilidad a condiciones de sequía (Wilhite, 2000). La vulnerabilidad se refiere a las características de un grupo en términos de su

capacidad de anticipar, hacer frente, resistir y recuperarse del impacto de una sequía (Iglesias et al., 2009a). Existen numerosos indicadores para cuantificar la vulnerabilidad, tal como se detalla en Shahid y Behrawan (2008); Iglesias et al. (2009b) y Tsakiris (2009). En el caso de esta investigación, los aspectos relacionados a la vulnerabilidad no serán tenidos en cuenta, dada la necesidad de cuantificar aspectos socio-económicos y estructurales y la dinámica temporal que estos poseen. La amenaza puede definirse como una situación con el potencial de causar daño, y, aunque posee variaciones temporales, si se considera un período de tiempo lo suficientemente largo puede asumirse como una condición estable (Wilhelmi et al., 2002). Por lo tanto, esta investigación abordará únicamente el concepto de amenaza de sequías. La evaluación de la amenaza de sequías es uno de los principales aspectos para los planes y mitigación de sequías, la cual describe la naturaleza física de las sequías y juega un papel fundamental en la relación entre vulnerabilidad y riesgo (Hayes et al., 2004). Es por ello que este trabajo propone la obtención de un mapa de amenaza de sequías para la región del SSA en base al índice de precipitación estandarizado (IPE) (McKee et al., 1993) en múltiples escalas de tiempo.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este trabajo, se utilizaron datos diarios de precipitaciones provenientes de 56 estaciones meteorológicas que corresponden al período comprendido entre 1961 y 2008. Estas estaciones pertenecen a la base de datos del proyecto CLARIS LPB y se ubican en la porción de Sudamérica al sur de la latitud 20°S. De las 56 estaciones meteorológicas, 49 estaciones se ubican en el territorio argentino, 3 en Paraguay y 4 en Brasil. Las series de datos utilizadas poseen menos de 5% de datos faltantes y fueron sometidas a procedimientos de control de calidad, los cuales se detallan en Penalba et al. (2014).

El IPE, desarrollado por McKee et al. (1993), cuantifica la cantidad de desviaciones estándar que la precipitación acumulada en una determinada escala de tiempo, se aparta del valor medio de una ubicación en un período particular. De acuerdo a Vicente-Serrano (2006) este es el índice de sequía más robusto y efectivo y, particularmente para la región del SSA, es el índice de sequía meteorológica más adecuado (Penalba y Rivera, 2014). El uso del IPE debe considerar varias escalas temporales, las cuales deben examinarse en conjunto a fin de formar un juicio global sobre las sequías (Kao y Govindaraju, 2010). Estas escalas de tiempo sobre las cuales se acumulan los déficits de la precipitación son extremadamente importantes y se asocian a distintos tipos de sequías, dado que un déficit en la precipitación en escala de tiempo corta es importante para la agricultura, mientras que en escala de tiempo larga posee relevancia en el manejo de los recursos hídricos. En este estudio se consideraron escalas de tiempo de 3 y 12 meses para el análisis de sequías de corto y largo plazo, respectivamente. Debido a que el IPE clasifica aproximadamente el 15,9% de los meses en la categoría de sequías (Lloyd-Hughes y Saunders, 2002), no es capaz de identificar regiones que sean propensas a ser afectadas por esta adversidad (Organización Meteorológica Mundial, 2012). Con lo cual, teniendo en cuenta que las sequías van a ocurrir con la misma frecuencia en todas las regiones, es necesario contabilizar otros factores para la obtención de un mapa de amenaza de sequías. Por ejemplo, Zareie et al. (2011) calcularon puntajes regionales de amenaza en función de precipitación anual, las tendencias de largo plazo, el coeficiente de variación de la precipitación y la cantidad de años áridos identificados mediante el IPE, entre otros criterios. Asrari et al. (2012) establecieron puntajes para la amenaza en función de la máxima severidad de sequía, la tendencia de largo plazo en el IPE y el máximo número consecutivo de años áridos.

En esta investigación, la amenaza de sequías se evaluará mediante el cálculo del índice de amenaza de sequías (IAS) propuesto por Shahid y Behrawan (2008), el cual se basa en las categorías de sequía identificadas mediante el IPE. Este índice considera un sistema de valuación de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia de sequías, y otorga pesos a las distintas categorías. El IAS se define como:

$$IAS = (SM_f \times SM_p) + (SS_f \times SS_p) + (SE_f \times SE_p) \quad (1)$$

siendo SM_f, SS_f y SE_f las valuaciones asignadas a la ocurrencia de sequías moderadas, severas y extremas, respectivamente; y SM_p, SS_p y SE_p los pesos asignados a las clases correspondientes a sequías moderadas, severas y extremas, respectivamente. Los pesos y las valuaciones otorgados a cada categoría se muestran en la Tabla I.

Categoría	Peso	% de ocurrencias	Valuación
Sequía moderada	1	Cuartil 1	1
		Cuartil 2	2
		Cuartil 3	3
		Cuartil 4	4
Sequía severa	2	Cuartil 1	1
		Cuartil 2	2
		Cuartil 3	3
		Cuartil 4	4
Sequía extrema	3	Cuartil 1	1
		Cuartil 2	2
		Cuartil 3	3
		Cuartil 4	4

Tabla I. Pesos y rangos asignados a las distintas categorías de sequías y al porcentaje de ocurrencias por categoría, respectivamente.

Para determinar las valuaciones asignadas a cada categoría de sequía primero es necesario establecer las frecuencias en las distintas categorías para cada estación meteorológica. Luego, se considera la serie de frecuencias por categoría -moderada, severa, extrema- para todas las estaciones, y se divide la muestra en cuartiles. De esta forma, las estaciones que posean los menores valores de frecuencia de sequía se ubicarán en el primer cuartil y las estaciones que posean los mayores valores se ubicaran en el cuarto cuartil. Cada cuartil posee la valuación que se indica en la Tabla I. Además, a cada categoría se le asignó un peso, de forma tal de otorgarle un peso mayor a la categoría más extrema. De esta forma, el IAS integra la intensidad de las sequías junto con su frecuencia. Además de haber sido utilizado en Bangladesh por Shahid y Behrawan (2008), el IAS fue utilizado también por Bin et al. (2011) para la evaluación de la amenaza de sequías en China. Para elaborar el mapa de amenaza de sequía, se consideraron los 56 valores de amenaza y se clasificaron de acuerdo a tres clases posibles: amenaza baja, moderada y alta. Para ello, se calcularon los terciles de la distribución de valores de amenaza, cuyos resultados fueron superiores a otros métodos como el método de intervalos iguales y el método de quiebres naturales (Jenks, 1967) (resultado no mostrado). Este último método es útil cuando los datos aparecen agrupados en torno a ciertos valores y existen cortes claros en el histograma, lo cual no fue el caso de las distribuciones de valores analizadas en esta investigación.

3) RESULTADOS

3.1) IPE3

En la Figura 1a se muestra el mapa de amenaza de sequías para el sur de Sudamérica obtenido para IPE3 durante el período 1961-2008. Las estaciones con alta amenaza de sequías se ubican principalmente en la región central de Argentina, y en total constituyen el 31% del SSA. Las estaciones con amenaza moderada se distribuyen en la región patagónica y pampeana, contabilizando aproximadamente el 25% del total de estaciones; mientras que la distribución de estaciones con baja amenaza de sequías es heterogénea y constituye el 44% del SSA. A fin de brindar un enfoque regional, se calculó el porcentaje de estaciones en cada una de las categorías de amenaza para las 7 regiones homogéneas obtenidas por Rivera y Penalba (2015) de acuerdo a la aplicación del análisis de componentes principales rotadas sobre las 56 series de IPE3. Estas regiones son: centro-este sur (CES); pampeana y Patagonia norte (P+PN); centro-oeste (CO); centro-este norte (CEN); noreste (NE); Patagonia sur (PS); Noroeste (NO). La distribución porcentual se muestra en la Figura 1b. La región P+PN es la que posee una mayor proporción de estaciones con amenaza alta de sequías. La región PS posee una mayor proporción de amenaza moderada de sequías, mientras que las regiones CO y CEN son las que poseen una menor amenaza de sequías.

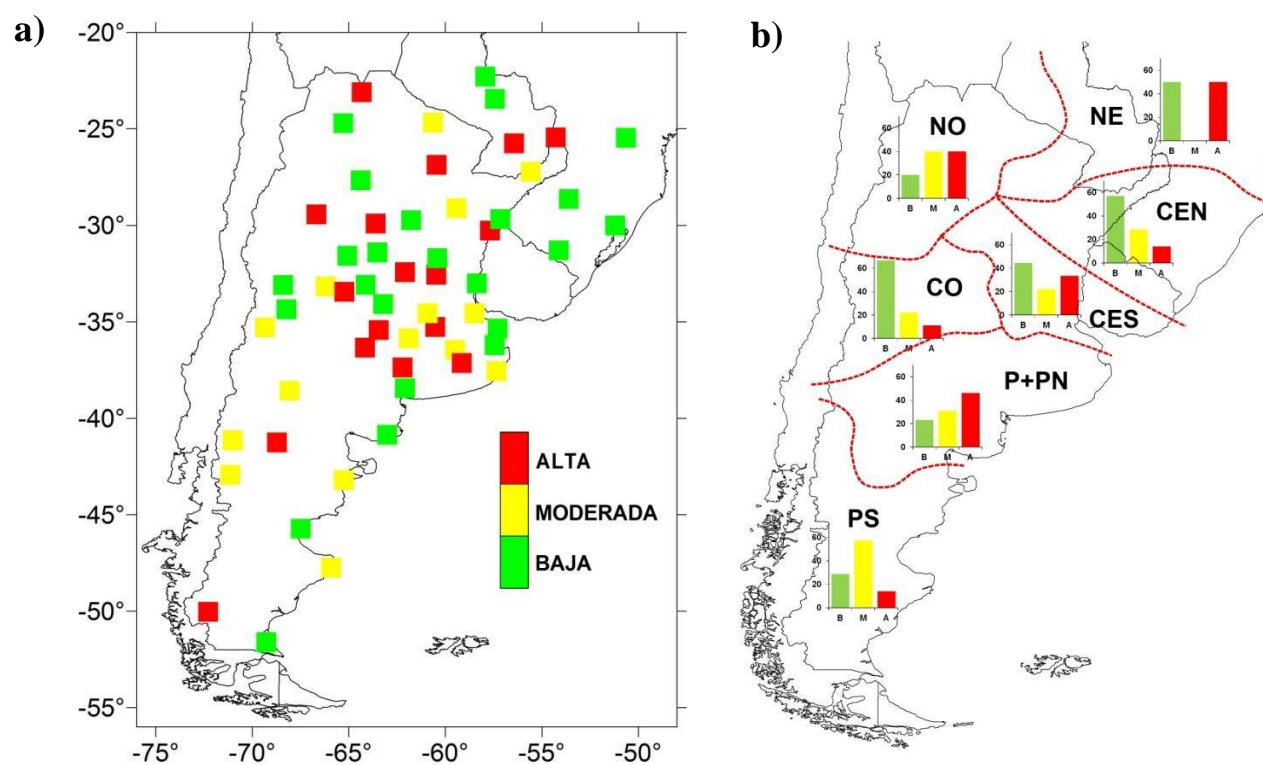


Figura 1. (a) Mapa de amenaza de sequía para el IPE3 durante el período 1961-2008. (b) Detalle regional del porcentaje de estaciones en las distintas categorías de amenaza de sequías para el IPE3.

3.2) IPE12

En la Figura 2a se muestra el mapa de amenaza de sequías para el IPE12. Se observa que las regiones más amenazadas ante la ocurrencia de sequías se localizan en la porción sur y oeste de la Patagonia, en la región central de Argentina y en el extremo norte, ocupando aproximadamente un 20% de las estaciones analizadas; en tanto la amenaza moderada de sequías abarca gran parte del centro del país y representa el 40% de las estaciones, mientras que la porción noreste del área de estudio presenta una

baja amenaza de sequías, categoría que contabiliza el 40% de las estaciones. Gran parte de las regiones que fueron beneficiadas por incrementos en la precipitación durante la segunda mitad del siglo XX (Castañeda y Barros, 1994; Penalba y Vargas, 2004) y que, en consecuencia, evidenciaron una expansión en la frontera agropecuaria (Barros et al., 2008), poseen una amenaza de sequías de moderada a alta (Figura 2). El detalle regional de la amenaza de sequías se realizó siguiendo el enfoque utilizado en la sección 3.1. En el caso del IPE12 las regiones NO, NE, CO, P+PN y PS poseen una extensión espacial similar a la obtenida para el caso del IPE3. Las regiones centro-este (CE) y pampeana (P) aparecen como una combinación de las regiones CEN y CES, y las regiones CES y P+PN, respectivamente (Figura 2b). La región PS es la que presenta una mayor amenaza de sequías, mientras que las regiones P+PN y P poseen mayormente condiciones de amenaza moderada. Tanto las regiones CE como NE poseen baja amenaza de sequías.

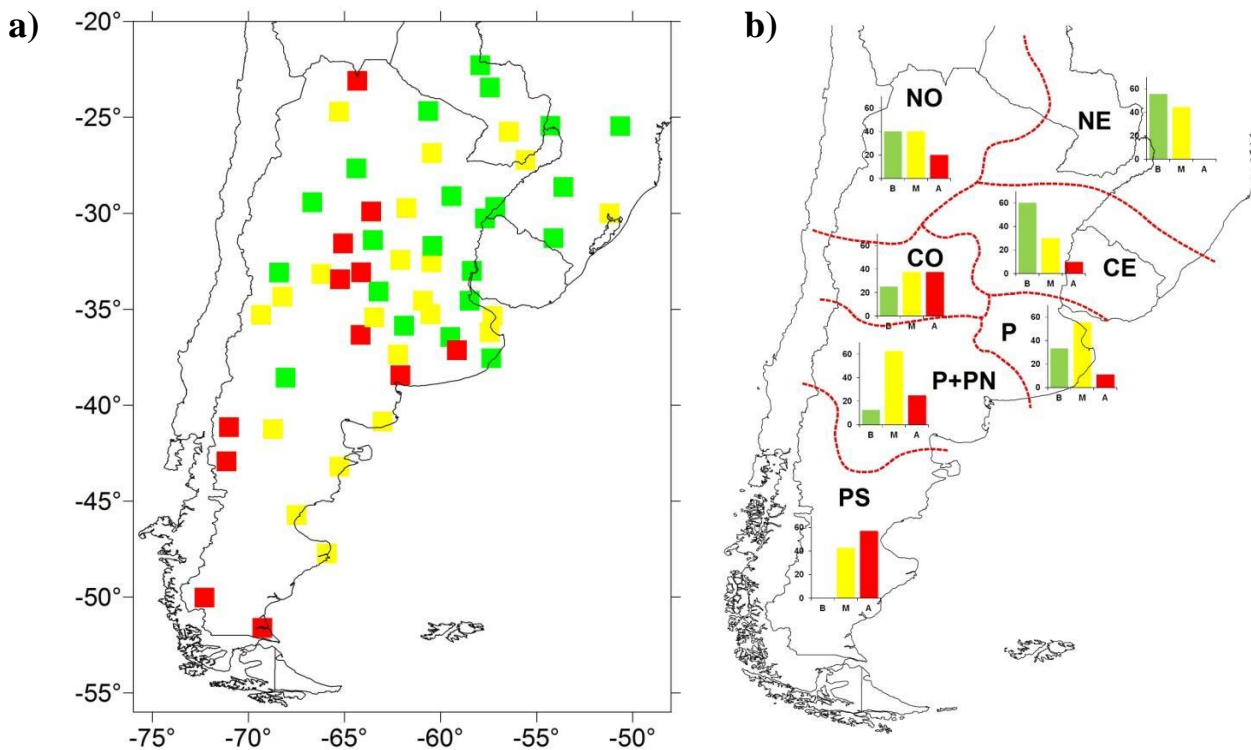


Figura 2. Ídem Figura 1 para el caso del IPE12.

4) CONCLUSIONES

En base al IPE en ventanas de 3 y 12 meses, se desarrollaron mapas de amenaza de sequías para el SSA en el período 1961-2008, mediante el índice propuesto por Shahid y Behrawan (2008). Este índice integra la intensidad de las sequías junto con su frecuencia, y los mapas de amenaza, junto con el desarrollo de mapas de vulnerabilidad posibilitarán el análisis del riesgo de sequías en el SSA. Se identificaron regiones con alta amenaza de sequía, principalmente en la región central de Argentina y en la Patagonia, dependiendo de la escala de tiempo considerada. Parte de la región central de Argentina registró incrementos en los acumulados de precipitación durante la segunda mitad del siglo XX, lo cual fue propicio para una expansión en la frontera agropecuaria. No obstante, considerando la reversión en las tendencias de la precipitación desde fines de la década de 1980 y principios de la década de 1990 (Krepper y Zucarelli, 2012; Rivera y Penalba, 2014), y su condición de poseer una amenaza de sequías alta, se recomienda la realización de planes de contingencia y mitigación de los

efectos de las sequías a fin de reducir sus impactos, principalmente a nivel agrícola.

AGRADECIMIENTOS: A los proyectos UBA-20020130200142BA de la Universidad de Buenos Aires y CONICET PIP 227 del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por financiar esta investigación.

REFERENCIAS

Asrari, E., Masoudi, M. y Hakimi, S.S., 2012: GIS overlay analysis for hazard assessment of drought in Iran using Standardized Precipitation Index (SPI). *J. Ecol. Field Biol.*, 35 (4), 323-329.

Bin, H., Aifeng, L., Jianjun, W., Lin, Z. y Ming, L., 2011: Drought hazard assessment and spatial characteristics analysis in China. *J. Geogr. Sci.*, 21 (2), 235-249.

Castañeda, M. y Barros, V., 1994: Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica*, 19, 23–32.

Hayes, M.J., Wilhelmi, O.V. y Knutson, C.L., 2004: Reducing drought risk: Bridging theory and practice. *Natural Hazard Review*, 106-113.

Iglesias, A., Garrote, L. y Cancelliere, A., 2009a: Guidelines to Develop Drought Management Plans. In: Iglesias, A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., Wilhite, D. (eds.). *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems*. p. 55-65. (Advances in Natural and Technological Hazards Research Vol. 26). Springer. ISBN: 978-1-4020-9044-8.

Iglesias, A., Moneo, M. y Quiroga, S., 2009b: Methods for evaluating social vulnerability to drought. In: Iglesias, A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., Wilhite, D. (eds.). *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems*. p. 153-159. (Advances in Natural and Technological Hazards Research Vol. 26). Springer. ISBN: 978-1-4020-9044-8.

Jenks, G.F., 1967: The Data Model Concept in Statistical Mapping, *International Yearbook of Cartography* 7: 186–190.

Kao, S.-C. y Govindaraju, R.S., 2010: A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380, 121-134.

Krepper, C.M. y Zucarelli, V., 2012: Climatology of Water Excess and Shortages in the La Plata Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 102, 13-27.

Lloyd-Hughes, B. y Saunders, M.A., 2002: A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol.*, 22 (13), 1571-1592.

McKee, T.B., Doesken, N.J. y Kleist, J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. En: *Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.

Organización Meteorológica Mundial, 2012: Standardized Precipitation Index User Guide. WMO-No. 1090, Geneva, Suiza, 24 pp. ISBN 978-92-63-11091-6.

Penalba O.C. y Rivera J.A., 2014: Comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. Meteorológica. En prensa. <http://www.cenamet.org.ar/archivos/Penalba.Rivera.EnEdicion.pdf>

Penalba, O.C., Rivera, J.A. y Pántano, V.C., 2014: The CLARIS LPB database: constructing a long-term daily hydro-meteorological dataset for La Plata Basin, Southern South America. *Geoscience Data Journal*, 1, 20-29.

Penalba, O.C. y Vargas, W.M., 2004: Interdecadal and Interannual Variations of Annual and Extreme Precipitation Over Central-Northeastern Argentina. *Int. J. Climatol.*, 24 (12), 1565–1580.

Rivera J.A. y Penalba, O.C., 2015: El Niño/La Niña events as a tool for regional drought monitoring in Southern South America. In: Andreu et al. (eds.). *Drought: Research and Science-Policy Interfacing*. p. 293-299.

Rivera J.A. y Penalba, O.C., 2014: Trends and spatial patterns of drought affected area in Southern South America. *Climate*, 2, 264-278.

Shahid, S. y Behrawan, H., 2008: Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nat. Hazards*, 46, 391-413.

Tsakiris, G., 2009: A paradigm for applying risk and hazard concepts in proactive planning. In: Iglesias, A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., Wilhite, D. (eds.). *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems*. p. 81-91. (Advances in Natural and Technological Hazards Research Vol. 26). Springer. ISBN: 978-1-4020-9044-8.

Vicente-Serrano, S.M., 2006: Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula. *Water Resources Management*, 20, 37-60.

Wilhelmi, O.V., Hubbard, K.G. y Wilhite, D.A., 2002: Spatial representation of agroclimatology in a study of agricultural drought. *Int. J. Climatol.*, 22, 1399-1414.

Wilhite, D.A., 2000: Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In: *Drought, A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series*, vol. I, Wilhite, D.A. (ed.). Routledge Publishers, United Kingdom.

Zareiee, A.R., Masoudi, M., Taghvaei, M., Shams, R.F. y Ganjei, A., 2011: Assessment of meteorological drought hazard area using GIS in Ghareh Aghaj basin, Iran. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, 15 (1), 25-30.