

Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela

Drought occurrence evaluation in localities of Venezuela

N. Mendoza y M. Puche

Instituto de Ingeniería Agrícola. Universidad Central de Venezuela.
Av. El Limón Maracay-Aragua

Resumen

La sequía puede definirse como un desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua. Cuando el déficit de agua es producto de una disminución en las lluvias comparada con el registro histórico se denomina sequía meteorológica. La sequía meteorológica puede ser caracterizada a través de su intensidad, magnitud y duración. Para establecer esa caracterización es necesario definir sequía a través de índices. En este trabajo se utilizaron el índice Deciles y el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) con datos de precipitación de Venezuela agrupados en tres períodos (mensual, trimestral y anual), en 64 estaciones al norte del Orinoco con un período común de registro de 49 años (1950-1998) y en 18 estaciones al sur con período de registro de 30 años (1969-1998). Para cada índice y período de agrupación se determinó el porcentaje de estaciones con sequía (PE) y para los años de gran PE, se realizaron mapas para detectar el patrón espacial de las áreas afectadas por sequía. El PE varía según el índice y el período de agrupación. El índice Deciles arroja mayor cantidad de casos y por ello mayor PE que el SPI. El año 1973 fue el único que presentó gran PE para todos los períodos de agrupación en ambos índices. No se detectó un patrón en el PE a lo largo de ese año.

Palabras clave: sequía, Índice Deciles, SPI

Abstract

Drought can be defined as an imbalance between water supply and demand. Meteorological drought comes about when water deficit is due to below average rainfalls compared with the historical records. Meteorological drought can be characterized through its intensity, duration and spatial coverage. First of all a drought index should be chosen. The Standardized Precipitation Index (SPI) and Deciles were estimated in order to define meteorological drought in Vene-

Recibido el 4-10-2006 • Aceptado el 12-6-2007

Autor de correspondencia e-mail: mendozan@agr.ucv.ve

zuela. From a total of 85 places, 67 located to the north of the Orinoco River had 49 years of monthly rainfall records (1950-1998) whereas only 30 years (1969-1998) were available for the 18 locations to the South. For each station, year and month; monthly, three month and twelve month rainfall totals were obtained and both drought indices were estimated for these series. Once the indices were calculated, the percentage of stations with drought was determined for each time scale. Years with high percentage of stations were mappings to know which zones of the country are the affected ones. The percentage of stations with drought varies with the index and the chosen time scale. Deciles show more drought cases than SPI. Year 1973 was the only one showing a high percentage of stations with drought for both indexes and all time scales. A pattern on SP was not detected along this year.

Key words: drought, spatial coverage of drought, SPI, Deciles

Introducción

El término sequía admite diversas acepciones en función del espacio geográfico o de la actividad económica afectada. Se habla por ejemplo de sequía meteorológica, agrícola, hidrológica o socioeconómica (algunas veces reportada como sequía social o urbana), en relación con las dificultades suscitadas en cada uno de estos sectores por una menor disponibilidad de agua (4, 9). establecen además, que cada disciplina incorpora diferentes factores físicos, biológicos y socioeconómicos en su concepción de la sequía. Debido a ello, existe una considerable confusión acerca de lo que exactamente constituye o define a una sequía. Una definición conceptual es la propuesta por Pereira *et al* .(6), la cual establece que la sequía es un desequilibrio natural pero temporal de la disponibilidad del agua, que consiste en una disminución persistente de la precipitación por debajo de la media, de frecuencia, duración y severidad inciertas, de ocurrencia imprevisible o difícil de predecir, dando como resultado una disminución en

Introduction

The drought term admit different senses as a function of the geographical space or the economical activity affected. It can be talk about meteorological, agricultural, hydrologic or socio economical drought (sometimes reported like social or urban drought), in relation with troubles caused in each of sectors by a little water availability (4, 9), by also establishing that each discipline adds different physical, biological and socio economical factors in its drought conception. Because of it, there is a considerable confusion about the exact constitution or definition of a drought. A conceptual definition is proposed by Pereira *et al* .(6), which establish that drought is a natural but temporary unbalance of water availability that consist on a persistent diminishing of rainfall below of average, of frequency, duration and uncertain severity, of no predictable occurrence of difficult for predicting giving as a result a decrease on water availability resources. Wilhite and Glantz (9) analyzed more of 150 definitions in its study on drought

la disponibilidad de los recursos de agua. Wilhite y Glantz (9) analizaron más de 150 definiciones en su estudio de clasificación de sequía. En la literatura se pueden encontrar resúmenes que agrupan definiciones desarrolladas en todo el mundo e índices utilizados para monitorear y evaluar la sequía (1, 4, 7, 8, 10). Analizando los diferentes índices que se han utilizado para establecer definiciones de sequía dentro de programas de monitoreo y alerta temprana o simplemente en estudios del comportamiento histórico de la sequía se observa coincidencia en que la sequía es una condición de humedad insuficiente causada originalmente por un déficit de precipitación durante un período de tiempo. Dracup *et al.* (1) establece que, aunque dependiendo de la perspectiva disciplinaria el concepto de sequía cambia, por ejemplo al hidrólogo le interesa el período en el cual los caudales de los ríos están por debajo de los normal afectando los niveles de embalses y reservorios de agua, al agricultor le interesa el concepto de sequía en el contexto del período durante el cual la humedad en el suelo es insuficiente para los cultivos y a los economistas les interesa el período durante el cual el suministro de agua es insuficiente para el desarrollo de las diferentes actividades económicas, todos esos conceptos, diferentes en muchos aspectos, ameritan considerar en su análisis un conjunto de aspectos comunes, con la finalidad de definir apropiadamente el tipo de sequía que se estudia. Este autor afirma que este conjunto de aspectos se engloban en tres preguntas que se deben responder antes de rea-

classification. In literature related can be found abstracts grouping developed definitions around the world and indexes used for monitoring and evaluating drought (1, 4, 7, 8, 10). By analyzing the different indexes used for establishing drought definitions inside of the monitoring programs and early alert or in drought historic behavior studies, it observed a coincidence about drought is a condition of insufficient moisture caused by a rainfall deficit during a time period. Dracup *et al.* (1) says that although depending on a disciplinary perspective this concept changes, for example, the hydrologist is interested on period in which the river flows are below of normal by affecting the reservoir levels; the agricultural people is interested on drought concept in the context of period during moisture in soil is not enough for cultivations and the economist are interested on periods during water supply is not enough for developing of different economical activities, all this concepts, different in many aspects, requires of considering in its analysis a group of common aspects, with the purpose of defining in a appropriate way the drought type to be studied. This author affirms that this group of aspects is globalize in three questions that have to be answered before making any drought study: ¿What is the nature of water deficit? If nature of deficit to be studied is of meteorological type can be consider one index that relates climatic variables. The rainfall data are widely used for estimating indexes of meteorological drought since in general the longer available registers. Studies based on indexes that only shows rainfall do not reflects the

lizar cualquier estudio de sequía: ¿Cuál es la naturaleza del déficit de agua? Sí la naturaleza del déficit que se desea estudiar es de tipo meteorológico puede considerarse un índice que relacione variables climáticas. Los datos de precipitación son ampliamente usados para calcular índices de sequía meteorológica ya que son, por lo general, los registros más largos que están disponibles. Los estudios basados en índices que sólo utilizan precipitación no reflejan el espectro de condiciones relacionadas con la sequía, pero sin embargo sirven como una solución pragmática cuando se trata de estudiar la sequía en regiones con poca disponibilidad de datos de otras variables climáticas como es el caso de Venezuela, en la que la mayoría de las estaciones meteorológicas se componen sólo de pluviógrafos. La siguiente pregunta importante para abordar estudios de sequía es ¿Cuál es el período de agrupación temporal más conveniente para el análisis del tipo de sequía que se quiere estudiar? En el caso de la sequía los períodos más comúnmente utilizados son el mes, los montos estacionales y los anuales. Dracup *et al.* (1) establecen que un aspecto que se ve afectado por el período de agrupación de los datos es el grado de correlación entre eventos sucesivos de sequía. Según este autor, en general períodos cortos de agrupación tienden a presentar una correlación mayor entre eventos sucesivos que períodos más largos. Edwards y Mckee (2) afirman que distintas escalas de tiempo permiten evaluar diferentes tipos de sequía.

El tercer aspecto a considerar

spectra of conditions related with drought, however, they function like a pragmatic solution when is about studying drought in regions with little availability of data from another climatic variables like Venezuela's case in where most of meteorological stations are only composed of pluviographs. The following important question for tackling drought studies is: ¿What is the temporary grouping period more convenient for the analysis of drought type to be studied? In case of drought, periods commonly used are month, station quantities and annuals. Dracup *et al.* (1) says that an aspect affected by data grouping period is the correlation degree between successive drought events. According this author, in general, short grouping periods have a tendency to present higher correlation between successive longer events. Edwards and Mckee (2) affirms that different time scales permits to evaluate different drought types.

Third aspect to be considered must be: ¿How are distinguished the drought events in an analytical way inside the time serial? Most of indexes considers drought when occurs a deficiency on a determined time, but not only is important a deficiency on a determined time but the consecutive occurrence of this deficiency so, it is very important to determine when deficit begins, how long takes and frequency of presentation. It is establish that it is very important to specify method through drought events going to be delimited inside of the time serial (1). This paper has as objective to analyze the drought occurrence in 85 localities of Venezuela through two indexes, the Deciles

debe ser ¿Cómo van a ser distinguidos analíticamente los eventos de sequía dentro de la serie de tiempo? La mayoría de los índices consideran sequía cuando ocurre una deficiencia en un tiempo determinado, pero no sólo es importante una deficiencia en determinado tiempo, sino también la ocurrencia consecutiva de esa deficiencia, por lo tanto es muy importante determinar cuándo comienza el déficit, cuánto dura y con qué frecuencia se ha presentado. Se establece que es muy importante especificar el método a través del cual los eventos de sequía van a ser acotados dentro de la serie de tiempo (1). El presente trabajo tiene como objetivo analizar la ocurrencia de sequía en 85 localidades de Venezuela, a través de dos índices, el índice Deciles y el índice de precipitación estandarizada (SPI).

Materiales y métodos

Los registros mensuales de precipitación de 85 localidades de Venezuela, se obtuvieron del Banco Nacional de Datos de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN). En las 67 localidades ubicadas al norte del Orinoco el registro comprende el período 1950 - 1998; en las 18 del sur del Orinoco se cuenta con registros para el período 1960 - 1998. La calidad y homogeneidad de estas series fue verificada en un trabajo previo. El análisis de sequía se realizó utilizando los índices Deciles y SPI calculados para tres períodos de agrupación: mensual, trimestral y anual.

Índice Deciles: Desarrollado

and the standardized rainfall index (SRI).

Materials and methods

Rainfall monthly registers of 85 localities of Venezuela were obtained from Data National Bank of the Hydrology and Meteorology Direction of the Ministry of Environment and Natural Resources (MARN). In the 67 localities placed to the north of Orinoco River, register include period 1950 - 1998; in the 18 placed to the south of Orinoco there are registers for period 1960 - 1998. Quality and homogeneity of these serials was verified in a previous study. The drought analysis was carried out by using the Deciles and SRI calculated for three grouping periods: monthly, each three month and annual.

Deciles Indexes: Developed by Gibbs and Maher (3), it is based on the statistical measures called quantiles. In general, value of a climatologic serial that is inferior to an f percentage ($100 - f$) of these values constitutes the quantile f of serial. For example, the first *decile* is the rainfall sheet below from which 10% of cases can be found; the second *decile* is the rainfall value below which the 20% can be found and so successively until the tenth *decile*, below which is found 100% of data. The Deciles rainfall is grouped into five classes and permits to determine dry and humid periods (table 1).

Standardized Rainfall Index (SRI): It measures how much the actual rainfall respect to average of long register for the time scale decided. For that, registers are adjusted to a

por Gibbs y Maher (3), se basa en las medidas estadísticas denominadas cuantiles. En general el valor de una serie climatológica que es menor que un porcentaje f de los valores de la serie y mayor que un porcentaje $(100 - f)$ de dichos valores constituye el cuantil f de la serie. Por ejemplo, el primer *decil* es la lámina de precipitación por debajo de la cual se encuentran el 10% de los casos, el segundo *decil* es el valor de precipitación por debajo del cual se encuentra el 20% y así sucesivamente hasta el *décimo decil*, por debajo del cual se encuentra el 100% de los datos. Los Deciles de precipitación se agrupan en cinco clases y ello permite determinar períodos secos y húmedos (cuadro 1).

Índice de Precipitación Estandarizada SPI: El índice de Precipitación Estandarizada (SPI *por sus siglas en inglés*) mide cuánto se desvía la precipitación actual con respecto al promedio de largo registro, para la escala de tiempo decidida. Para ello, los registros son ajustados a una distribución de probabilidad gamma (figura 1a) y luego se obtiene el valor que tendría la misma probabilidad en una distribución normal de media cero y varianza uno (figura 1b), estos valores corresponden al SPI (5).

La distribución gamma es definida por su función de densidad de probabilidad:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

para una lámina $x > 0$, donde: b es el parámetro de escala; a es el parámetro de forma; $G(a)$ es la función gamma de a y $x > 0$ es el valor de precipitación (5).

distribution of gamma probability (figure 1a) and after value of the same probability in a normal distribution of mean zero and variance one are obtained (figure 1b), these values corresponds to SRI (5).

The gamma distribution is defined as a function of its probability density:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

for a sheet $x > 0$, in where: b is the scale parameter; a is the form parameter; $G(a)$ is the gamma function of a and $x > 0$ is the rainfall value (5).

The alpha and beta parameters of the function of probability density are calculated in each station for the rainfall series of each year time with each interest scale (annual, half yearly, three monthly, monthly, each fifteen days, etc.). Solutions of maximum similarity can be used for estimating a and b parameters. The resultant parameters are after used for calculating the accumulated probability to the rainfall sheet (c) observed for a month gave to the time scale that be working for the station. Probability accumulated is given by:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} \int_0^x x^{a-1} e^{-x/\beta} dx$$

Since the gamma function is not defined for $x = 0$, as frequently found in rainfall data, probability accumulated is given by:

$$H(x) = (1-q)G(x)$$

in where: $H(x)$ is the probability of having a rainfall sheet inferior or equal to a value

Cuadro 1. Clasificación de los períodos según Deciles.

Table 1. Periods classification according to Deciles.

Deciles	Porcentaje	Clasificación
1-2	el 20% más bajo	Muy por debajo de lo normal
3-4	20% cerca del más bajo	Por debajo de lo normal
5-6	20% del medio	Cerca de lo normal
7-8	20% cerca del más alto	Por encima de lo normal
9-10	20% más alto	Muy por encima de lo normal

Fuente: (3)

Los parámetros alfa y beta de la función de densidad de probabilidad son calculados en cada estación para las series de precipitación de cada mes del año con cada escala de interés (anual, semestral, trimestral, mensual, quincenal, etc.). Las soluciones de máxima verosimilitud pueden ser usadas para estimar los parámetros a y b. Los parámetros resultantes son usados luego para calcular la probabilidad acumulada a lámina de precipitación (c) observada para un mes

of x, q is the probability of no having rainfall and G(x) is the incomplete Gamma function. Dracup *et al.* (1) says that when using the SRI with some grouping periods of rainfall permits a better comprehension of rainfall and a better comprehension of drought.

Each of SRI values is assigned to one of seven categories defined in table 2.

Obtaining of three monthly and annual rainfall values: Monthly rainfall registers of each year

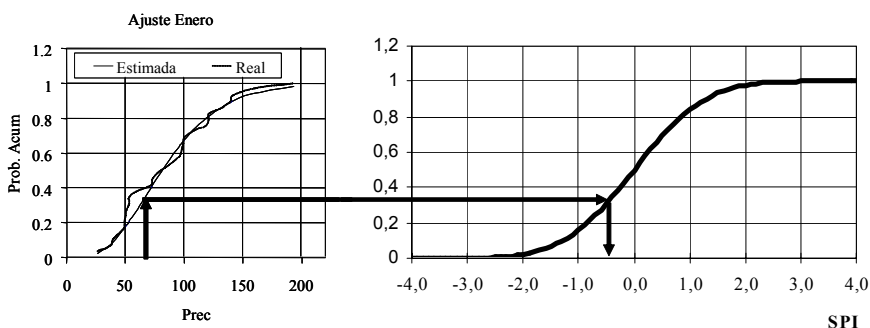


Figura 1. Ejemplo de transformación de una distribución gamma ajustada a una distribución normal estandarizada. (Traducido de (1)).

Figure 1. Example of transformation of a gamma distribution adjusted to a standardized normal distribution. (Traded from (1)).

dado a la escala de tiempo que se esté trabajando para la estación en cuestión. La probabilidad acumulada está dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}}\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx$$

Dado que la función gamma no está definida para $x = 0$, como es frecuente en los datos de precipitación, la probabilidad acumulada viene dada por:

$$H(x) = (1-q)G(x)$$

donde: $H(x)$ es la probabilidad de tener una lámina de precipitación menor o igual a un valor de x , q es la probabilidad de no tener precipitación y $G(x)$ es la función Gamma Incompleta. Dracup *et al.* (1) afirman que, usar el SPI con varios períodos de agrupación de la precipitación, permite una mejor comprensión de la evolución de la sequía.

Cada uno de los valores del SPI es asignado a una de las siete categorías definidas en el cuadro 2

Cuadro 2. Clasificación de las intensidades de sequía y períodos húmedos de acuerdo al valor del SPI.

Table 2. Classification of drought intensity and moisture periods according to SRI indexes.

SPI	Clase
2+	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente Húmedo
-0.99 a 0.99	Cerca de lo normal
-1 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
-2 o menor	Extremadamente seco

Fuente: (1)

were introduced in Microsoft® Office Excel 2003, from these the intermediate values for each month of a year were calculated the rainfall mobile three monthly values; for example, sum of rainfalls of November and December 1979 and January 1980 was assigned like the three monthly value of January 1980; those of December 1979, January and February 1980 was assigned to February 1980 and so forth. At the end of procedure, 12 three monthly values were obtained for each year.

The rainfall mobile annual values were calculated in the same way than three monthly ones. The annual value for a particular month and year corresponds to the accumulated monthly rainfall of the eleven previous months and to the actual month. At the end of this procedure 12 annual values were obtained in each station.

Deciles and SRI calculation:

In case of Deciles index, for each

Obtención de valores trimestrales y anuales de precipitación:

Los registros mensuales de precipitación de cada año fueron introducidos en Microsoft® Office Excel 2003, a partir de ellos se calcularon para cada mes de cada año los valores trimestrales móviles de precipitación; por ejemplo, la suma de las precipitaciones de noviembre y diciembre de 1979 y enero del año 1980 fue asignada como el valor trimestral de enero 1980, la de los meses de diciembre de 1979, enero y febrero de 1980 fue asignada a febrero de 1980 y así sucesivamente. Al final de este procedimiento se obtuvieron para cada año, 12 valores trimestrales.

Los valores anuales móviles de precipitación se calcularon de la misma manera que los trimestrales. El valor anual para un mes y año particular, corresponde a la precipitación mensual acumulada de los once meses previos y el mes en cuestión. Al final de este procedimiento se obtuvieron para cada año, 12 valores anuales en cada estación.

Cálculo de Deciles y SPI: En el caso del índice Deciles, para cada período de agrupación y cada mes, se determinaron los umbrales de precipitación correspondientes a cada decil. Posteriormente, cada registro de precipitación se comparó con los umbrales de precipitación y se le asignó el decil que le correspondía. Este procedimiento proporcionó los valores del índice Deciles de las 85 estaciones bajo estudio para cada mes de cada año con cada período de agrupación.

Para cada período de agrupación y cada año, el SPI se calculó, siguiendo el procedimiento desarrollado por

grouping period and each month, the rainfall thresholds were determined corresponding to each decile. Subsequently, each rainfall register was compared to the rainfall threshold and it was assigned the corresponding decile. This procedure gave values of the Deciles index of the 85 stations under study for each year with each grouping period.

For each grouping period and each year the SRI was calculated by following developed by Hayes (5). For each month the parameters values of form and scale of gamma distribution were estimated (a and b) and by using the gamma function of Excel the probabilities corresponding to each sheet. To these probabilities a standardized inverse normal function was applied for obtaining the SRI associated to each rainfall register. This procedure gave the monthly values of SRI for each of 85 stations under study for each month of each year with each grouping period.

Drought occurrence evaluation in localities: For effects of this paper it is consider like dryer according Deciles those with a rainfall inferior to threshold of the second decile corresponding to that month. According SRI is those with a month with a value of -1.

For each grouping period (k), each month (i) of each year (j), it is proposed to calculate the localities percentage with drought (PE_{ijk}) of the following way:

$$PE_{ijk} (\%) = \frac{N_{ijk}}{NT} \times 100$$

For a grouping period k, N_{ijk} is the stations number that shows

Hayes (5). Para cada mes se estimaron los valores de los parámetros de forma y escala de la distribución gamma (a y b) y utilizando la función gamma de Excel se determinaron las probabilidades correspondientes a cada lámina. A estas probabilidades se les aplicó una función normal inversa estandarizada para obtener el SPI asociado a cada registro de precipitación. Este procedimiento proporcionó los valores mensuales del SPI para cada una de las 85 estaciones bajo estudio para cada mes de cada año con cada período de agrupación.

Evaluación de la ocurrencia de sequía en las localidades: Para efecto de este trabajo se considera mes seco según Deciles aquel cuya precipitación es menor al umbral del segundo decil correspondiente a ese mes. Según SPI es aquel mes cuyo valor es menor que -1.

Para cada período de agrupación (k), cada mes (i) de cada año (j), se propone calcular el porcentaje de localidades con sequía (PE_{ijk}) de la siguiente manera:

$$PE_{ijk} (\%) = \frac{N_{ijk}}{NT} \times 100$$

Para un período de agrupación k, N_{ijk} es el número estaciones que presentan sequía en el mes *i* de un año *j* y NT el número total de estaciones.

El número máximo de casos posibles para cada mes es igual al número total de estaciones, es decir, el caso más crítico para un mes de un año particular sería aquel en el cual todas las estaciones hayan presentado montos de precipitación por debajo de los umbrales que muestran la ocurrencia de sequía.

Con los datos de PE se realiza-

drought in month/of a year/and TN the stations total number.

The maximum number of possible cases for each month is equal to the stations total number, it means, the more critical case for a month of a year in particular in which every stations have presenting rainfall quantities below of threshold showing the drought occurrence.

With PE data graphics of surface in Microsoft® Office Excel 2003^a for identify years with superior values. For these years, maps of each index were generated by using Surfer (Win32) of Golden Software Inc. for detecting the affected areas and its evolution through months.

Results and discussion

PE varies according to grouping period and index. In figure 2 PE is shown for Deciles indexes and SRI in monthly grouping period. It can be detaches that a color continuity in graphic only shows that PE is the same but there is no reference about zone be the same that do not permits to evaluate the drought severity nor the special pattern of PE. In figure 2a it is observed that according to the Deciles index, there is drought in Venezuela every register year with PE from a 25% to a 50% of stations. There have been little droughts with PE superior to 75% and they have been of a short duration (table 3). In figure 2b it can be observed that according to SRI index the more common is to find PE between 0 and 25%, PE values superior to 75% are not found. The more critical situations registered during the study period corresponds to PE values between 50

ron gráficos de superficie en Microsoft® Office EXCEL 2003^a para identificar los años con mayores valores. Para dichos años, se generaron los mapas de cada índice utilizando Surfer (Win32) de Golden Software Inc. para detectar las áreas afectadas y su evolución a través de los meses.

Resultados y discusión

El PE varía según el período de agrupación y el índice. En la figura 2 se muestra la PE para los índices Deciles y SPI en el período de agrupación mensual. Cabe destacar que una continuidad de color en el gráfico sólo indica que el PE es el mismo pero no hace referencia a si la zona es la misma, por lo que no permite evaluar la severidad de la sequía ni el patrón espacial del PE. En la figura 2a se observa que, según el índice Deciles, se ha presentado sequía en Venezuela en todos los años de registro con PE desde un 25% hasta un 50% de las estaciones. Se han presentado pocas sequías con PE mayor a 75% y ellas han sido de corta duración (cuadro 3). En la figura 2b puede observarse que según el índice SPI lo más común es encontrar PE entre 0 y 25%, no se alcanzan valores de PE mayores a 75%. Las situaciones más críticas registradas durante el período de estudio corresponden a valores de PE entre 50 y 75%. (cuadro 3).

El PE, para el período de agrupación trimestral con ambos índices, disminuye para algunos años con respecto a la de la agrupación mensual pero aumenta para otros (figura 3). Como ejemplo para Deciles (figura 3a), en octubre de 1958 el PE fue de

and 75%. (table 3).

PE for the three-monthly grouping period with both indexes decreases for several years respect to the monthly grouping but increases for others (figure 3). As an example for Deciles (figure 3a), in October 1958 the PE was of 50-75% with the monthly grouping period whereas for the three-monthly PE diminished until the interval of 25-50%. In contrast, in February 1959, PE for monthly grouping period was on interval 50-75% and increased to interval 75-100% for three-monthly period.

PE decreases when increases the grouping period, there are months in that index is below normal but when the three-monthly grouping period this value can be compensate with rainfall of the other two months. In contrast, when PE increases with the grouping period that happens is that the sum of three months gives an index value below normal even each one separately reflects a value close to normal. Years of superior PE according to both indexes are summarized in table 3.

The basic difference between the three-monthly grouping period and monthly, is that the first one keeps the PE value during more time inside of year. This tendency keeps with the annual grouping period (figure 4), in where it is observed that is more frequent to find complete years with the same PE especially for every cases of little PE. This indicates that when the annual total is classified in a particular situation being of drought or not, is difficult that PE change in a short term making that it is maintained during more a year. It is observed that in figure 4a with the

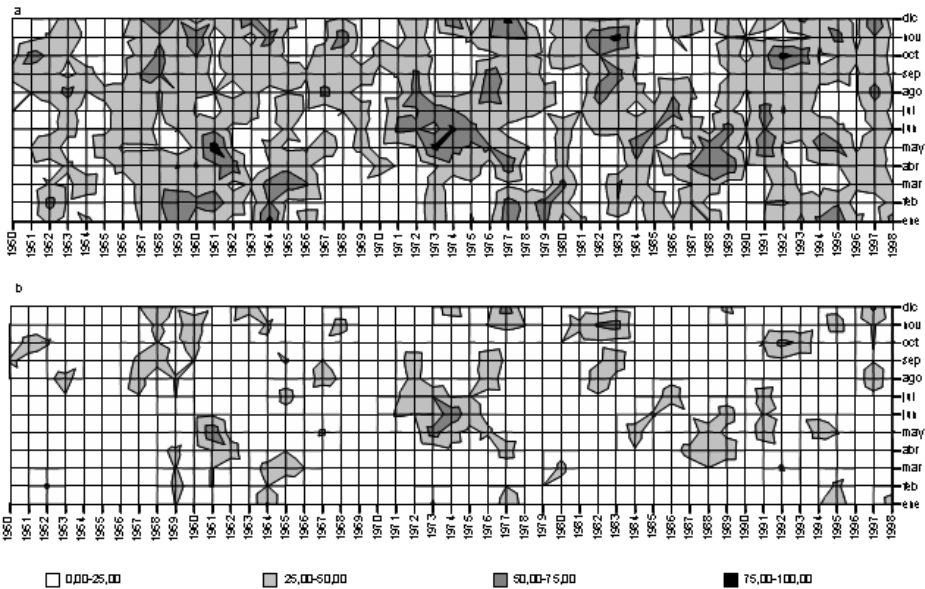


Figura 2. Cobertura Espacial de la sequía período de agrupación mensual: (2a) Deciles (2b) SPI.

Figure 2. Spatial cover of drought, monthly grouping period: (2a) Deciles (2b) SRI.

50-75% con el período de agrupación mensual mientras que para el trimestral el PE bajó hasta el intervalo del 25-50%. En contraste, en febrero de 1959 el PE para el período de agrupación mensual estaba en el intervalo 50-75% y aumentó al intervalo 75-100% para el período trimestral.

Cuando el PE disminuye al aumentar el período de agrupación, quiere decir que hay meses en los que el índice está por debajo de lo normal pero que cuando se utiliza el período de agrupación trimestral este valor puede ser compensado con la precipitación de los otros dos meses. En contraste, cuando aumenta la PE con el período de agrupación lo que ocurre es que la suma de los tres meses da un valor del

annual grouping period according Deciles, year 1959 have the same PE in every months. Years 1973, 1974 and 1975 have PE superior to 50%, however, only in months of May, June and July of 1973 the PE is superior to 75%. According SRI (figure 4b) it can be observed that periods with periods with superior PE corresponds to August 1959 and May to August of 1973.

As can be observed in table 3 for a grouping period in particular, years of extensive PE agree in both indexes even present exactly the same values. However, year 1973 is the common unique to the three grouping periods.

It can be observed that even on year 1973 with a monthly grouping period drought was evident in every

Cuadro 3. Años con extensa cobertura espacial de la sequía (mayor a 75% para Deciles y entre 50 y 75% para SPI. Periodo 1950-1998. Venezuela.

Table 3. Years with extensive spatial cover of drought (superior to 75% for deciles and between 50 and 75% for SRI. Period 1950-1998. Venezuela.

Índice Deciles						
Mensual		Trimestral			Anual	
Mes	Año	Mes	Año	Mes	Año	Año
mayo	1961	enero, febrero, marzo y abril	1959	Mayo, junio y julio	1973	1973
mayo	1973	mayo	1961			
junio	1974	febrero y marzo	1964			
diciembre	1977	julio	1973			
noviembre	1983	enero	1978			
octubre	1992	mayo	1988			
		julio	1991			

SPI						
Mensual		Trimestral			Anual	
Mes	Año	Mes	Año	Mes	Año	Año
mayo	1961	enero, febrero, marzo y abril	1959	Mayo, junio y julio	1973	1973
mayo	1973	mayo	1961			
junio	1974	febrero y marzo	1964			
diciembre	1977	julio	1973			
noviembre	1983	enero y febrero	1978			
octubre	1992	mayo	1988			
		julio	1991			

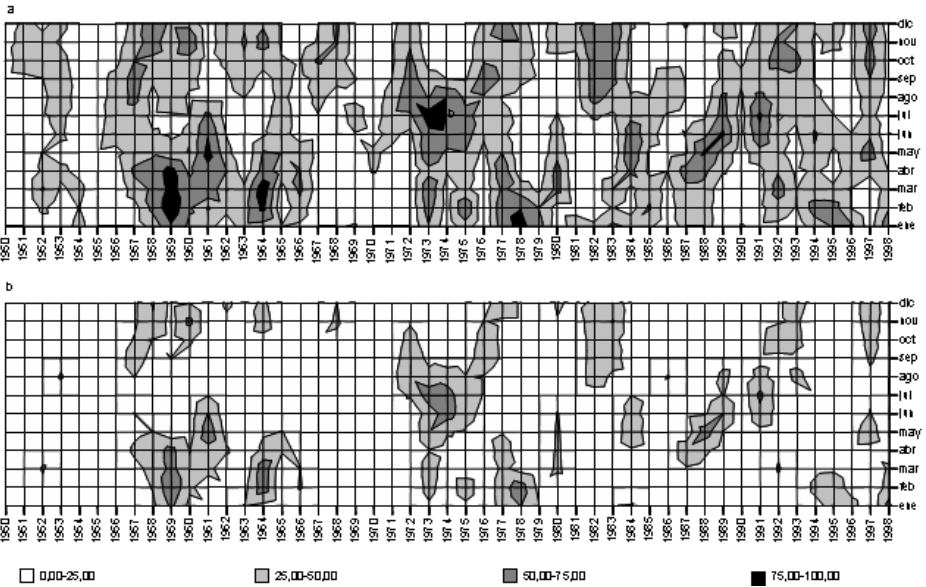


Figura 3. Cobertura Espacial de la Sequía período de agrupación trimestral: (3a) Índice Deciles. (3b)SPI.

Figure 3. Spatial cover of drought, three-monthly grouping period: (3a) Deciles index. (3b) SRI.

índice por debajo de lo normal aunque cada uno por separado refleje un valor cercano a lo normal. Los años de mayor PE según ambos índices se resumen en el cuadro 3.

La diferencia fundamental entre el período de agrupación trimestral y el mensual, radica en que en el primero se mantiene el valor de PE por más tiempo dentro del año. Esta tendencia se mantiene con el período de agrupación anual (figura 4), donde se observa que es más frecuente encontrar años completos con la misma PE sobre todo para los casos de PE bajas. Ello indica que cuando el total anual se clasifica en una situación particular ya sea de sequía o no, es difícil que la PE cambie en el corto plazo haciendo

country locations (figures 5 and 6) PE do not shows an uniform pattern through months (localities affected changes from a month to another). Months with high localities under drought conditions were May, June and July. According Deciles (figure 5), in May 1973 the superior PE that showed drought in every localities with exception of those of south extreme. However, it can be observed that this region showed drought in other months of that year, for example, in March. According this index, every localities showed drought at any time of this year.

Maps of the SRI (figure 6) showed that for year 1973 the SRI shows a little number of localities with

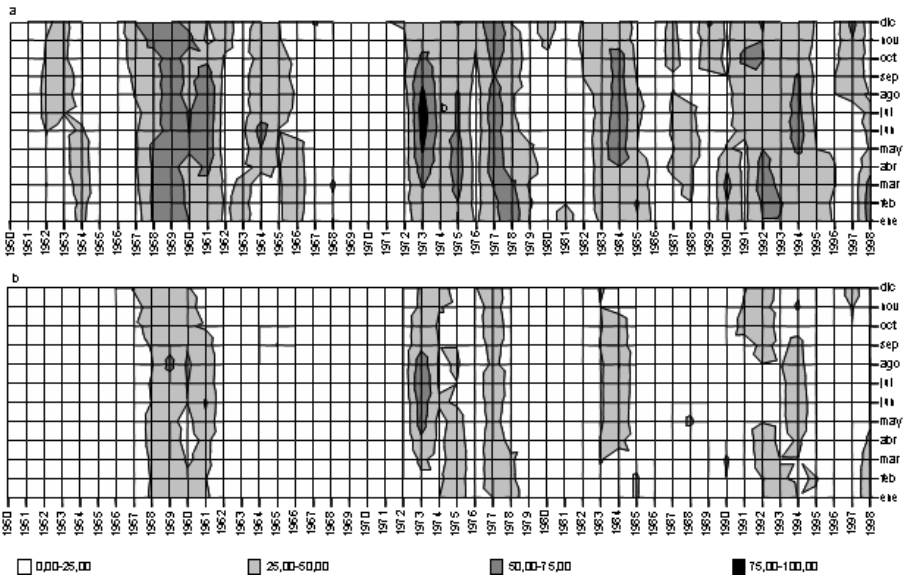


Figura 4. Cobertura Espacial de la sequía período de agrupación anual: (4a) Índice Deciles. (4b) SPI.

Figure 4. Spatial cover of drought, annual grouping period: (4a) Deciles index. (4b) SP.

que se mantenga por más de un año. Se observa en la figura 4a que, Con el período de agrupación anual, según Deciles, el año 1959 tiene el mismo PE en todos los meses. Los años 1973, 1974 y 1975 tienen PE mayor al 50%, no obstante, sólo en los meses de mayo, junio y julio de 1973 el PE es mayor a 75%. Según SPI (figura 4b) se puede observar que los períodos con mayor PE corresponden a agosto de 1959 y de mayo a agosto de 1973.

Como puede observarse en el cuadro 3 para un período de agrupación particular, los años de PE extensa coinciden en ambos índices, aunque no se presenten exactamente los mismos valores. No obstante, el año 1973 es el único común a los tres períodos de agrupación.

drought condition. For example, in April month a high part of the Bolivar state and Delta do not shows drought according to SRI whereas Deciles shows this region in drought conditions.

In difference with Deciles index, SRI shows localities, even little ones, in where at any month of year are present drought conditions, such as "Quebrada Arriba" and "Prieto Los Lopez" at Lara state, "Tinaquillo" at Cojedes state, "Santa Rosalia" at Bolivar state and "San Carlos de Rio Negro" at Amazonas state.

Conclusions

PE varies depending of grouping period and index used for

Puede observarse que, aunque en el año 1973 con un período de agrupación mensual se presentó sequía en casi todas las localidades del país (figuras 5 y 6), el PE no muestra un patrón uniforme a través de los meses (las localidades afectadas cambian de un mes a otro). Los meses con mayores localidades bajo condición de sequía fueron mayo, junio y julio. Según Deciles (figura 5), en mayo de 1973, el cual registró el mayor PE, se presentó sequía en casi todas las localidades a excepción de las ubicadas en el extremo sur. Sin embargo puede observarse que dicha zona presentó sequía en otros meses de ese año, como por ejemplo en marzo. Según este índice todas las localidades presentaron condición de sequía en algún momento de este año.

Los mapas del SPI (figura 6) indican que para el año 1973 el SPI muestra un menor número de localidades con la condición de sequía. Por ejemplo, en el mes de abril gran parte del estado Bolívar y el Delta no presentan sequía según SPI mientras que Deciles muestra a esta zona en condiciones de sequía.

determination of droughts periods. In general, for a month in particular the Deciles index shows a high quantity of localities with drought conditions than SRI.

PE in Venezuela have been variable during the study period being year 1973 the only one was present for both indexes in the three grouping periods between 75 and 100% according Deciles and 50 to 75% according SRI.

When increasing the temporary grouping period, PE values sep on for a long time, this particularity could be taking as advantage in next studies for the pattern identification and suggest convenience of using grouping periods superior to a month.

The Deciles index shows a high pertinence on time of PE value, that not necessarily shows that the same localities shows droughts conditions of a month to another one.

After this characterization stage, one of problems to be tackled for recommending the use of one and/or another index in Venezuela, is the evaluation of impacts related to the

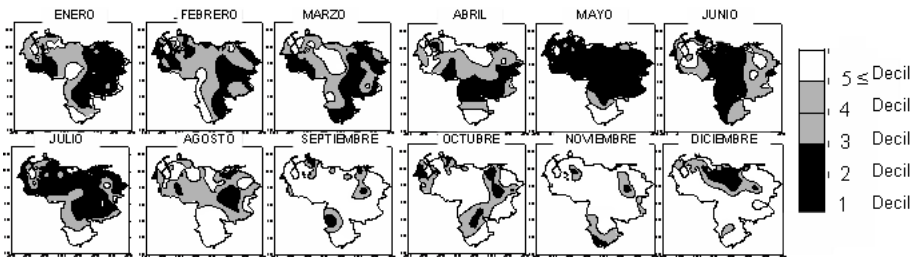


Figura 5. Índice Deciles en Venezuela a lo largo del año 1973. Período de agrupación mensual.

Figure 5. Deciles indexes in Venezuela along the year 1973. Monthly grouping period.

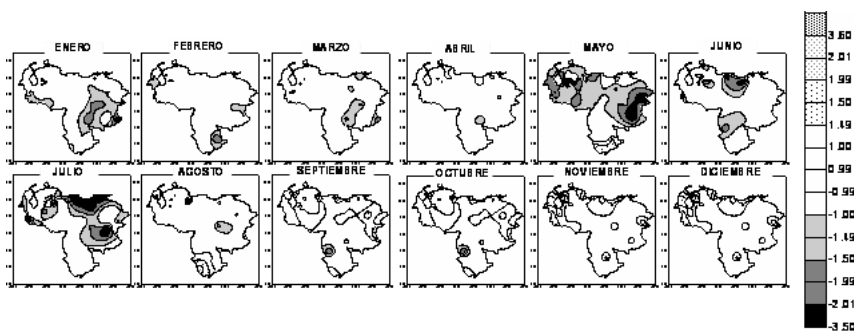


Figura 6. Índice SPI para el año 1973. Período de agrupación mensual.

Figure 6. SRI index for year 1973. Monthly grouping period.

A diferencia del índice Deciles, el SPI muestra localidades, aunque pocas, en las que en ningún mes del año se presentan condiciones de sequía, tales como Quebrada Arriba y Prieto Los López en el estado Lara, Tinaquillo en el estado Cojedes, Santa Rosalía en el estado Bolívar y San Carlos de Río Negro en el estado Amazonas.

Conclusiones

El PE varía dependiendo del período de agrupación y el índice utilizado para la determinación de los períodos de sequía. En general, para un mes en particular, el índice Deciles arroja mayor cantidad de localidades con condiciones de sequía que el SPI.

El PE en Venezuela ha sido variable durante el período de estudio, siendo el año 1973 el único que presentó, para ambos índices en los tres períodos de agrupación, valores entre 75 y 100% según Deciles y 50 a 75% según SPI.

Al aumentar el período de agrupación temporal, los valores de PE se mantienen por mayor tiempo, esta

drought events detected for each index and to find relationships between them.

End of english version

particularidad podría aprovecharse en futuros estudios para la identificación de patrones y sugiere la conveniencia de utilizar períodos de agrupación mayores a un mes .

El índice Deciles muestra una mayor permanencia en el tiempo del valor de PE, lo que no necesariamente indica que sean las mismas localidades las que presenten condiciones de sequía de un mes a otro.

Luego de esta etapa de caracterización, uno de los problemas a abordar, para recomendar la utilización de uno u otro índice en Venezuela, es la evaluación de los impactos asociados a los eventos de sequía detectados por cada índice y encontrar relaciones entre éstos.

Literatura citada

1. Dracup, J. A., K. Seong Lee, y G. Paulson Jr. 1980. On the

- definition of droughts. *Water Resour. Res.*, 16, 297-302.
2. Edwards, D. C. y T. B. McKee. 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.
 3. Gibbs, W.J. y J.V. Maher. 1967. Rainfall Deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin*, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
 4. Glantz, M., y R. W. Katz. 1977. When is a drought a drought?. *Nature* 267: 192-193.
 5. Hayes, M. 2000. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln. (19 de Abril de 2004) Drought indices [on line] <http://www.drought.unl.edu/plan/cycle.htm>.
 6. Pereira, L.S., I. Cordery y I. Iacovides. 2002. Coping with water scarcity. Technical documents in hydrology; 58. Publ: 2002; 272 p. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001278/127846e.pdf>
 7. Sandford, S. 1979. Towards a definition of drought. In M.T. Hinchey ed. *Botswana Drought Symposium*. Botswana Society, Gaborone, Botswana.
 8. Subrahmanyam, V.P. 196. Incidence and spread of continental drought. *WMO/IHD Projects Rep. 2*, Geneva, Switzerland, 52 pp
 9. Wilhite, D.A. y M.H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3):111-120.
 10. World Meteorological Organization. 1975. Drought and agriculture, *WMO Technical Note 138*. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 127 p.