

Sistematización del cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado como metodología para generar información de sequía meteorológica

Systematization of the calculation of the Standardized Precipitation Index as a methodology to generate meteorological drought information

Sistematização do cálculo do Índice de Precipitação Padronizado como metodologia para gerar informações sobre a seca meteorológica

Adriana Cortez¹, Barlin Orlando Olivares^{2*}, Raquel Mayela Parra³, Deyanira Lobo⁴, Juan C. Rey B.^{1,4} y María F. Rodríguez¹

¹INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Laboratorio de sistemas de Información en Recursos Agroecológicos, Aragua, Venezuela. Correo electrónico: acortez.inia@gmail.com; mfrc04@gmail.com; jcreyb@hotmail.com. ^{2*}Investigador. Programa de Doctorado en Agroalimentación, Universidad de Córdoba (UCO), España. Correo electrónico: barlinolivares@gmail.com ³Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería Agrícola, Aragua, Venezuela. Correo electrónico: mparrap@gmail.com. ⁴Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía, Departamento de Edafología, Aragua, Venezuela. Correo electrónico: lobo.deyanira@gmail.com.

Resumen

La sequía representa un peligro natural cuando los niveles de precipitación se encuentran por debajo de lo que se considera normal, generando consecuencias negativas en la demandas de la sociedad y del medio ambiente. Dentro de los diferentes métodos para vigilar la sequía, se encuentra el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), siendo este uno de los más usados y de fácil cálculo. El objetivo de esta investigación fue sistematizar el cálculo del SPI como metodología

Recibido: 08-10-17 • Aceptado: 31-03-20

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: barlinolivares@gmail.com

para generar información de sequía meteorológica. La metodología computacional se basó en una hoja de cálculo Excel. De acuerdo con los pasos establecidos, se obtuvo el cálculo del índice de manera práctica y fácil, mediante el uso únicamente de los datos históricos de precipitación de una zona determinada y las funciones estadísticas de Excel, como resultado de la aplicación, la información de la sequía meteorológica puede utilizarse para la gestión del riesgo, así como puede ser una herramienta metodológica para los planificadores en la adopción de decisiones.

Palabra clave: metodología, información, precipitación, déficit hídrico.

Abstract

Drought represents a natural hazard when precipitation levels are below what is considered normal, generating negative consequences on the demands of society and the environment. Within the different methods to monitor drought, is the Standardized Precipitation Index (SPI), this being one of the most used and easy to calculate. The objective of this research was to systematize the calculation of SPI as a methodology to generate meteorological drought information. The computational methodology was based on an Excel spreadsheet. According to the established steps, the calculation of the index was obtained in a practical and easy way, using only the historical precipitation data of a certain area and the mathematical functions in Excel, as a result of the application, the information of the Meteorological drought can be used for risk management as well as can be a methodological tool for planners in decision making.

Key words: methodology, information, precipitation, water deficit.

Resumo

A seca representa um risco natural quando os níveis de precipitação estão abaixo do que é considerado normal, gerando conseqüências negativas nas demandas da sociedade e do meio ambiente. Entre os diferentes métodos para monitorar a seca, está o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), sendo um dos mais amplamente utilizados e facilmente calculados. O objetivo desta pesquisa foi sistematizar o cálculo do SPI como uma metodologia para gerar informações sobre a seca meteorológica. A metodologia computacional foi baseada em uma planilha do Excel. De acordo com as etapas estabelecidas, o cálculo do índice foi obtido de forma prática e fácil, utilizando apenas os dados históricos de precipitação de uma determinada área e as funções estatísticas do Excel, como resultado da aplicação, as informações do A seca meteorológica pode ser usada para gerenciamento de riscos, além de ser uma ferramenta metodológica para planejadores na tomada de decisões.

Palavra chave: metodologia, informação, precipitação, déficit hídrico.

Introducción

Un índice comúnmente hace referencia a un único número, siendo este valor, más útil que los datos crudos para tomar decisiones o planificar. Típicamente, los índices de sequías agrupan importantes cantidades de datos en un valor numérico, permitiendo obtener una noción del déficit hídrico en una zona cualquiera. Una de las principales variables, que consideran estos índices, la representa la precipitación registrada en el sitio de interés (Wu *et al.*, 2005; Olivares *et al.*, 2017b; Olivares y Zingaretti, 2018).

Una metodología para determinar la magnitud de la sequía debe facilitar el análisis de las relaciones de la sequía con los factores modificadores del clima y demás elementos atmosféricos (Colotti *et al.*, 2013; Olivares, 2018). El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, Standardized Precipitation Index), desarrollado por McKee *et al.* (1993), es uno de los más difundidos a nivel mundial, debido a que requiere únicamente el uso de series históricas de precipitación mensual, y ofrece la ventaja de manipular diversas escalas de tiempo, haciendo posible identificar los impactos de la sequía en periodos de corto, mediano y largo plazo (Loaiza *et al.*, 2015).

En la actualidad existe una creciente automatización de los procesos de la información; el uso de las tecnologías de información permite que sea más fácil la búsqueda y sistematización de datos, lo cual genera la necesidad de desarrollar competencias para resolver la problemática que este

Introduction

An index commonly refers to a single number more useful than raw data to make decisions or planning. Typically, drought indexes group big data in a number value, getting an idea of water stress in any region. One of the main variables considered in these indexes represents precipitation registered in the region of interest (Wu *et al.*, 2005; Olivares *et al.*, 2017b; Olivares and Zingaretti, 2018).

A methodology to determine drought magnitude must make ease analysis of interactions of drought with climate modifying factors and other atmospheric elements (Colotti *et al.*, 2013; Olivares, 2018). Standardized Precipitation Index (SPI), developed by McKee *et al.* (1993), is one of most widespread worldwide, because require only the use of history series of monthly precipitation, and offers the advantage of manipulating various time scales, and various time scales, making it possible to identify the impacts of drought in short, medium and long-term periods (Loaiza *et al.*, 2015).

Actually exists a growing automation of information processes; use of information technologies allow easy data systematization which generates need to develop competencies to solve problems presented in this context. Systematization of computer methodologies provides the necessary tools to acquiring knowledge and develop skills related to generation of important environmental information.

To calculate SPI, some computer programs has been developed to

contexto demanda. La sistematización de metodologías en informática proporciona las herramientas necesarias para que se adquiera el conocimiento y se desarrollen habilidades y destrezas, vinculadas con la generación de información importante desde el punto de vista ambiental.

Generalmente, para el cálculo del SPI se desarrollaron programas computarizados con el fin de ejecutar dicho cálculo en entornos Windows (National Drought Mitigation Center, 2018) y UNIX (McKee *et al.*, 1993, 1995), sin embargo, la propuesta presentada en esta investigación se basa en el uso de una hoja de cálculo electrónica con fórmulas y funciones estadísticas que contiene Microsoft Excel (2007). Esta hoja de cálculo electrónica es una herramienta que permite organizar información en un esquema con forma de tabla (columnas y filas), en donde se vacían los datos de lluvia para lograr la estimación del índice de sequía por medio de la captura de datos numéricos, así como de cálculos complejos y automatización de funciones.

El objetivo de esta investigación fue sistematizar el cálculo de SPI como metodología para generar información de sequía meteorológica utilizando una hoja de cálculo electrónica. En este sentido, se pretende que la sistematización del SPI sea usada por diversos planificadores ambientales e instituciones de investigación, universidades y Servicios Meteorológicos e Hidrológicos como parte de las iniciativas de alerta temprana y vigilancia de la sequía.

execute such calculates under Windows® environment (National Drought Mitigation Center, 2018) and UNIX (McKee *et al.*, 1993, 1995), nevertheless, proposal presented in this research is based in an Microsoft Excel® (2007) spreadsheet, formulas and statistical functions. This electronic spreadsheet is a tool that allows information organization in a table scheme (rows and columns) where rain data are registered to achieve estimation of drought index by the means of numerical data capture, as well as complex calculate and function automation.

The objective of this research was to systematize the SPI calculation as a methodology to generate information of meteorology drought by the use of electronic spreadsheet. It is intended that systematization of SPI, will be used by environmental planners, research institutions, universities and Meteorological and Hydrological Services, as part of early warning and drought monitoring initiatives.

Material and methods

Computer method description

To develop this research, SPI was determined normalizing precipitation registered in a station of the Red Agrometeorológica of Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas in Venezuela (Olivares *et al.*, 2017a), after a probability density function was fixed in accordance to McKee *et al.* (1993, 1995), Edwards and McKee (1997), Cortez *et al.* (2018) and Parra *et al.* (2018).

Materiales y métodos

Descripción de la metodología computacional

Para el desarrollo de este trabajo, el SPI se determinó normalizando la precipitación para una de las estaciones pertenecientes a la Red Agrometeorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas en Venezuela (Olivares *et al.*, 2017a), después de que se fijó para una función de densidad de probabilidad, según describen McKee *et al.*, (1993, 1995), Edwards y McKee (1997), Cortez *et al.* (2018) y Parra *et al.* (2018).

La hoja de cálculo electrónica se puede obtener y descargar de forma gratuita en la página de la Red Agrometeorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (<http://www.agrometeorologia.inia.gob.ve/index.php/datos-climaticos>). Esta hoja de cálculo, además de organizar la información, realiza operaciones matemáticas de diversa índole; desde las más sencillas como las aritméticas, estadísticas y lógicas, entre otras. A continuación, se describen los fundamentos básicos para la obtención del índice SPI, tomados de Edwards y McKee (1997).

Información requerida

Se requieren datos de precipitación mensuales para un período superior a 30 años, al cual se debe realizar un análisis exploratorio de los datos (AED), cuya su finalidad es hacer una revisión de la información, estableciendo su estructura y relaciones existentes. Se debe realizar el control de calidad a las series de precipitación mensuales de acuerdo

The spreadsheet is available in the Red Agrometeorológica of Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (<http://www.agrometeorologia.inia.gob.ve/index.php/datos-climaticos>) web site. The spreadsheet, in addition to organizing information, performs mathematical operations of various kinds, from simplest, as arithmetical, statistical and logical, among other. The basic calculation of SPI is described below, as in Edwards and McKee (1997).

Required information

Monthly precipitation data is required for a period higher than 30 years, and an exploratory data analysis (AED) must be done to review information, establishing its structure and existing relationships. Quality control must be done on monthly precipitation series in agree with Parra and Cortez (2005) and statistical procedures developed by Olivares *et al.* (2013) for weather stations.

How SPI is calculated?

SPI index is defined as a numerical value that represents the number of standard deviatons of precipitation fallen along a given period, referred to the mean. For SPI calculation, two stages are described: the first one consists to adjust the precipitation history series to theoretical Gamma distribution. The second stage is based on converting the adjusted precipitation series to the Gamma distribution in a standardized normal distribution with media 0 and variance 1, whose result represents SPI index (Edwards y McKee, 1997). The application of gamma distribution

con la metodología propuesta por Parra y Cortez (2005) y los procedimientos estadísticos desarrollados por Olivares *et al.* (2013) para estaciones climatológicas.

¿Como se calcula el SPI?

El índice SPI se define como un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación caída a lo largo del período de acumulación de que se trate, respecto de la media. Para el cálculo del SPI se pueden describir dos etapas: la primera consiste en ajustar la serie histórica de la precipitación a la distribución teórica Gamma. La segunda etapa se fundamenta en convertir la serie de precipitación ajustada a la distribución Gamma en una distribución normal estandarizada con media 0 y varianza 1, cuyo resultado representa el índice SPI (Edwards y McKee, 1997). Es recomendable la aplicación de la distribución Gamma, debido en principio a la variabilidad natural de las precipitaciones y a su distribución asimétrica respecto a los valores medios (Colotti *et al.*, 2013). Los valores Negativos del SPI representan déficit de precipitación, y aquellos Positivos, asociados a datos de precipitación superiores al promedio histórico.

Protocolo para el cálculo de SPI

Paso 1. Acumulación de los datos de precipitación diaria para obtener la mensual

La acumulación de los datos de precipitación diaria para obtener la mensual tiene la ventaja de que el SPI mensual es la representación más exacta de una precipitación mensual

is recommended, due in principle to the natural variability of rainfall and its asymmetric distribution with respect to the mean values (Colotti *et al.*, 2013). The negative values of SPI represents lack of precipitation and positive ones, to data of precipitation higher than historical average.

SPI calculation protocol

Step 1. Daily precipitation data accumulation

Daily precipitation data accumulation for average accounts for advantage that monthly SPI is the mostly accurate representation of monthly, because distribution has been normalized. In example, one month SPI at the end of august compares total precipitation of one month for august of that single year with total precipitation for august of the whole years registered. Such a value indicates an approach of soil moisture and short-term crop stress, especially during growth season (OMM, 2012). The table 1 shows for each month the monthly value, thus obtaining twelve sub-series in each station.

Step 2. Gamma theoretical probability distribution

Parameters α y β from Gamma Probability Distribution (DPTG) associated to each 12 accumulated precipitation series was estimated. The DPTG density of probability function is given by equation 1:

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

Where $f(x, \alpha, \beta)$: is the Gamma function of probability, (x): is the rain monthly accumulated expressed in

puesto que la distribución se ha normalizado. Por ejemplo, el SPI de 1 mes al final de agosto compara el total de precipitación de 1 mes para agosto de ese año particular con los totales de la precipitación para agosto de todos los años del registro. Este valor indicaría una aproximación de la humedad del suelo y el estrés de los cultivos a corto plazo, especialmente durante la estación de crecimiento (OMM, 2012). El cuadro 1 muestra para cada mes el valor mensual, obteniéndose así doce subseries en cada estación.

Paso 2. Distribución de Probabilidad Teórica Gamma

Se estima 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:

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

mm; (α y β): are scale and distribution shape parameters, respectively, and Γ : Gamma distribution.

On the other hand, the probability that the monthly accumulated in a subseries be lower or equal to existing register, is represented as $F(x)$ and is estimated by the equation 2:

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

To estimate α y β parameters of equation 1, the methodology described by Trejo *et al.* (2016) is used, which establishes the calculation for each monthly subseries, of a dimensionless auxiliary variable (A), defined as in equation 3:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n'} \quad (3)$$

Where, $\ln(x_i)$ is the neperian logarithm of accumulated record, n' represents the number of non-null records, y \bar{x} is the arithmetic mean of

Cuadro 1. Precipitación mensual (mm) de una serie de 5 años de la estación agrometeorológica El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela.

Table 1. Monthly precipitation (mm) from a 5-year series of Estación Agrometeorológica El Tigre, state of Anzoategui, Venezuela.

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Annual |
|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| 1971 | 2,3 | 21,8 | 0,0 | 110,3 | 98,5 | 89,3 | 166,8 | 128,2 | 144,7 | 184,0 | 261,7 | 51,1 | 1258,7 |
| 1972 | 48,6 | 8,6 | 11,7 | 63,2 | 76,7 | 109,1 | 255,3 | 129,2 | 107,8 | 80,0 | 37,5 | 9,1 | 936,8 |
| 1973 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 19,1 | 7,5 | 139,5 | 80,5 | 148,6 | 61,3 | 111,8 | 37,9 | 49,3 | 655,5 |
| 1974 | 3,1 | 0,3 | 7,5 | 5,6 | 1,7 | 51,6 | 170,0 | 170,1 | 183,5 | 103,8 | 81,4 | 8,8 | 787,4 |
| 1975 | 4,6 | 5,7 | 0,0 | 0,0 | 26,1 | 127,5 | 130,6 | 137,6 | 44,5 | 126,3 | 31,1 | 79,5 | 713,5 |

Donde $f(x, \alpha, \beta)$: es la función de densidad de probabilidad Gamma, (x) : es la lluvia acumulada mensual expresada en mm; $(\alpha$ y $\beta)$: son los parámetros de escala y de forma de la distribución, respectivamente, y Γ : Distribución Gamma.

Por otra parte, la probabilidad de que el acumulado mensual, en una subserie, sea menor o igual al registro existente, se representa como $F(x)$ y se estima según la ecuación 2:

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

Para estimar los parámetros α y β de la ecuación 1, se utiliza la metodología propuesta por Trejo *et al.* (2016), el cual establece el cálculo para cada subserie mensual, de una variable auxiliar adimensional (A), definida de la siguiente manera (ecuación 3):

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} \quad (3)$$

Donde $\ln(\bar{x})$ es el logaritmo neperiano del registro acumulado, n representa el número de registros no nulos, y \bar{x} es la media aritmética de la subserie mensual expresada en mm. Del paso anterior se obtienen 12 variables auxiliares, A (cuadro 2).

Paso 3. Estimación de los parámetros α y β

Posteriormente, la estimación de los parámetros α y β de cada subserie se realiza aplicando las ecuaciones 4 y 5. La hoja de cálculo electrónica

monthly subseries expressed in mm. From later step, 12 auxiliary variables are generated, A (table 2).

Step 3. Estimation of α and β parameters

Subsequently, the estimation of α y β parameters from each sub-series was done by equations 4 and 5. The electronic spreadsheet estimates parameters shown in table 3.

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3}A}}{4A} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5)$$

Step 4. Mixed Gamma function (FGM)

Null records in monthly subseries impede the A variable calculation (neperian logarithm of zero trends to infinite) thus, Mixed Gamma Function (FGM) is used (table 4) proposed by Wu *et al.* (2005) as seen in equation 6.

$$H(x) = q + p F(x) \quad (6)$$

Where, (q) is the probability of a subseries null value present, $(p=1-q)$ is the probability of a subseries null value not present, y $H(x)$ is the probability of record non-exceedance.

Results and discussion

Drought intensity

Once Gamma probabilities 12-series were obtained, the

proporciona la estimación de los parámetros mostrados en el cuadro 3.

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} \Lambda}}{4 \Lambda} \tag{4}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{5}$$

spreadsheet estimates the Z-value or SPI value that corresponds, in a standardized normal distribution with zero mean and equal to one standard deviation. The table 5 shows the drought intensity and magnitude for the period (1971-2014) in a weather station selected.

Drought starts when the SPI value turns negative for first time and

Cuadro 2. Obtención del logaritmo neperiano del registro acumulado mensual.

Table 2. Obtaining the neperian logarithm of the monthly-accumulated record.

| Parámetro | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suma(ln) | 73,09 | 54,89 | 44,70 | 111,88 | 174,67 | 213,76 | 227,96 | 226,51 | 213,87 | 202,74 | 167,68 | 134,56 |
| n' | 42 | 37 | 33 | 32 | 44 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 42 |
| Suma (ln).n ⁻¹ | 1,74 | 1,48 | 1,35 | 3,50 | 3,9699 | 4,97 | 5,18 | 5,15 | 4,86 | 4,61 | 3,81 | 3,20 |
| ln (promedio) | 2,41 | 2,01 | 2,60 | 4,12 | 4,46 | 5,10 | 5,26 | 5,25 | 4,96 | 4,80 | 4,16 | 3,47 |
| Λ | 0,67 | 0,52 | 1,24 | 0,63 | 0,49 | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,35 | 0,26 |
| P(nulo=q) | 0,05 | 0,16 | 0,25 | 0,27 | 0,00 | 0,0227 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,023 |
| P(p) | 0,95 | 0,84 | 0,75 | 0,73 | 1,00 | 0,9773 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,977 |

Cuadro 3. Cálculo de coeficientes de la distribución gamma.

Table 3. Calculation of Gamma distribution coefficients.

| Parámetro | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Λ | 0,67 | 0,52 | 1,24 | 0,63 | 0,49 | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,35 | 0,26 |
| α | 0,88 | 1,10 | 0,53 | 0,94 | 1,16 | 3,91 | 6,53 | 5,20 | 5,11 | 2,69 | 1,60 | 2,05 |
| β | 12,69 | 6,73 | 25,47 | 65,47 | 74,43 | 42,09 | 29,44 | 36,53 | 27,94 | 45,37 | 39,92 | 15,66 |
| P(nulo=q) | 0,05 | 0,16 | 0,25 | 0,27 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| P(p) | 0,95 | 0,84 | 0,75 | 0,73 | 1,00 | 0,98 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,98 |

Paso 4. Función Gamma Mixta (FGM)

Los registros nulos en las subseries mensuales imposibilitan calcular la variable auxiliar A (el logaritmo neperiano de cero tiende a infinito), por lo tanto, se emplea la Función Gamma Mixta (FGM) (cuadro 4) propuesta por Wu *et al.* (2005) como sigue en la ecuación 6:

$$H(x) = q + p F(x) \quad (6)$$

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

Resultados y discusión

Intensidad de la sequia

Una vez obtenidas las 12 series de probabilidades Gamma, la hoja de cálculo estima el valor Z ó valor de SPI que le corresponde, en una distribución normal estandarizada con media cero y desviación estándar igual

finishes when index turns positive, called sequences or dry events, this criterion is applied to determine the duration on the monthly time scale.

The spreadsheet refers to the system of classification in table 6 in accordance to McKee *et al.* (1993) to define different drought intensities according to different values of SPI. These categories refers to meteorology drought phenomenon (whose SPI values are negative) and corresponds to circumstantial events, but are not an aridity condition (Colotti *et al.*, 2013). In agree to Olivares *et al.* (2016a, 2016b) SPI demonstrated to be adequate to identifying and tracing of dry and wet events in venezuelan regions important from an agricultural point of view, where Gamma function provides a proper fit to precipitation totals for one month periods.

Magnitude and duration of drought

To calculate the magnitude of dry period during any year in a determined station, a variation of original method of Edwards and McKee (1997) is used, where monthly SPI equal or lower than -1, are accumulated and when

Cuadro 4. Función Gamma Mixta para los valores acumulados mensuales para un periodo de 5 años.

Table 4. Mixed Gamma function for monthly-accumulated values for a 5-year period.

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1971 | 0,2136 | 0,9522 | 0,0000 | 0,8306 | 0,6743 | 0,1780 | 0,4115 | 0,2447 | 0,5704 | 0,8211 | 0,9947 | 0,8285 |
| 1972 | 0,9833 | 0,6828 | 0,6432 | 0,6449 | 0,5742 | 0,2781 | 0,8124 | 0,2496 | 0,3241 | 0,3309 | 0,3662 | 0,1075 |
| 1973 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,2797 | 0,0607 | 0,4409 | 0,0354 | 0,3486 | 0,0642 | 0,5253 | 0,3704 | 0,8131 |
| 1974 | 0,2701 | 0,0301 | 0,5355 | 0,0970 | 0,0113 | 0,0405 | 0,4296 | 0,4602 | 0,7692 | 0,4791 | 0,7196 | 0,1016 |
| 1975 | 0,3630 | 0,5242 | 0,0000 | 0,0000 | 0,2276 | 0,3769 | 0,2132 | 0,2918 | 0,0201 | 0,6024 | 0,2968 | 0,9595 |

a 1. El cuadro 5 muestra la intensidad de la sequía y magnitud para el periodo (1971-2014) para una estación agrometeorológica seleccionada.

La sequia comienza cuando el valor del SPI se hace negativo por primera vez y culmina cuando el índice se hace positivo, denominadas secuencias o eventos secos, siendo este criterio aplicado para la determinación de la duración en la escala temporal mensual.

La hoja de cálculo hace referencia al sistema de clasificación mostrado en el cuadro 6 según McKee *et al.* (1993) para definir las distintas intensidades de la sequía en función a los distintos valores de SPI. Estas categorías están referidas al fenómeno de la sequía meteorológica (aquellas cuyo valor de SPI es negativo) y, por tanto, corresponden a eventos secos coyunturales, más no constituyen una condición de aridez (Colotti *et al.*, 2013). De acuerdo con los estudios

SPI is higher than -1, it is substituted by zero. In this focus, an SPI value >-1 indicates normal or wet condition (equation 7).

$$MS = \sum_{i=1}^{12} SPI_i$$

If and only if $SPI_i < 0$ (7)

Where, (MS) represents magnitude of drought for evaluated period, (SPI) is the SPI index for monthly-accumulated rain series.

Since the magnitudes of drought events can take different values, spreadsheet provides classification proposed by Hernández (2015), which establishes five class: normal with MS among 0.1 to 0.9, mild (1 to 1.99), little strong (2 to 2.99), strong (3 to 3.99), very strong (4 to 4.99) and extremely strong (MS>5). Actually, SPI is suitable for study of short-term drought (but important for

Cuadro 5. Intensidad de la sequía (1990-1995) y Magnitud de la sequía (MS) para la estación agrometeorológica El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela.

Table 5. Drought intensity (1990-1995) and drought magnitude (MS) for weather station El Tigre, state of Anzoategui, Venezuela.

| Año | Meses | | | | | | | | | | | | MS |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | |
| 1990 | 1,4 | 0,1 | -0,1 | 1,0 | 0,0 | -0,5 | 0,8 | 0,3 | 1,4 | 0,3 | -0,5 | -1,0 | 2,10 |
| 1991 | 0,8 | -0,1 | 1,5 | -0,6 | -1,8 | -0,9 | -1,6 | 1,0 | -1,7 | 0,7 | 1,5 | 0,2 | 6,70 |
| 1992 | 0,5 | -0,7 | -0,5 | -0,3 | -0,5 | -0,3 | 0,1 | -1,6 | 1,5 | -1,0 | 1,2 | 0,2 | 4,95 |
| 1993 | -0,8 | -0,9 | 0,9 | 0,3 | 1,7 | -0,2 | 1,4 | 0,0 | -2,4 | -1,1 | -0,2 | -1,0 | 6,68 |
| 1994 | -1,3 | -0,5 | -0,1 | -0,4 | -0,9 | -1,1 | 0,5 | -0,8 | 0,7 | 0,4 | -1,2 | -0,7 | 7,10 |
| 1995 | -0,2 | -1,0 | 2,1 | -0,1 | -0,3 | 0,0 | 0,3 | 1,4 | 0,1 | 1,2 | -0,1 | -1,2 | 3,03 |

Nota: la escala de grises indica las distintas categorías de intensidad de la sequía detalladas en el cuadro 6.

Note: grey-scale indicates different categories of drought intensity detailed in table 6.

Cuadro 6. Frecuencia de ocurrencia de la intensidad de la sequía (SPI) del periodo (1971-2014) para la estación agrometeorológica El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela.

Table 6. Frequency of intensity occurrence of drought (SPI) for 1971-2014 period for weather station El Tigre, state of Anzoategui, Venezuela.

| SPI | Categoría | Probabilidad de ocurrencia |
|--------------|-----------------------|----------------------------|
| | | (%) |
| 2,0 y más | Extremadamente húmedo | 2,08 |
| 1,5 a 1,99 | Muy húmedo | 4,55 |
| 1,0 a 1,49 | Moderadamente húmedo | 9,47 |
| -0,99 a 0,99 | Normal | 71,21 |
| -1,49 a -1,0 | Moderadamente seco | 6,82 |
| -1,99 a -1,5 | Severamente seco | 4,36 |
| -2 y menos | Extremadamente seco | 1,33 |

de Olivares *et al.* (2016a, 2016b) el SPI demostró ser adecuado para la identificación y seguimiento de eventos secos y húmedos en regiones venezolanas importantes desde el punto de vista agrícola, donde la función Gamma proporciona un ajuste adecuado a los totales de precipitación para períodos de un mes.

Magnitud y duración de la sequía

Para calcular la magnitud del periodo seco durante un año cualquiera, en una estación determinada, se emplea una variante del método original propuesto por Edwards y McKee (1997) donde se acumulan los SPI mensuales cuya magnitud es igual o inferior a -1, y cuando el SPI es mayor a -1 se sustituye por un cero. Bajo este enfoque, un valor de SPI >-1 indica una condición normal o húmeda (ecuación 7).

agriculture) or prolonged (relevant for water-resources management). In Venezuela, this index has been used experimentally (Hernández, 2015; Olivares *et al.*, 2012; 2016a, 2016b), it was never produced operationally.

Conclusions

Systematization of drought index presented in this work conceive experiences of Red Agrometeorológica of INIA project, as a source of weather information. Thus, spreadsheet was designed to be used in an autonomous way: do not includes any instructor, nor form part of a face-to-face or virtual grade, but is available to people interested with a basic knowledge about these weather phenomena. The aim is to provide the user a broad and focused perspective about main aspects implied in systematization process for generation of drought data,

$$MS = \sum_{i=1}^{12} SPI_i$$

$$\text{Sí y sólo sí } SPI_i < 0 \quad (7)$$

Dónde (MS): representa la magnitud de la sequía para el período evaluado, (SPI): es el índice SPI para series de lluvia acumulada mensual.

Dado que las magnitudes de los eventos de sequía pueden tomar valores diversos, la hoja de cálculo proporciona la clasificación propuesta por Hernández (2015), la cual establece cinco clases: normal con MS entre (0,1 - 0,9), leve (1 - 1,99), poco fuerte (2 - 2,99), fuerte (3 - 3,99), muy fuerte (4 - 4,99) y extremadamente fuerte (MS > 5). Actualmente, el SPI es apto para el estudio de sequías cortas (pero importantes para la agricultura) o prolongadas (relevantes para manejo de recursos hídricos). En Venezuela, si bien se ha experimentado con este índice (Hernández, 2015; Olivares *et al.*, 2012; 2016a, 2016b), nunca fue producido operacionalmente.

Conclusiones

La sistematización del índice de sequía presentada en este trabajo concibe las experiencias del proyecto de la Red Agrometeorológica del INIA, como fuente de generación de información climática. De esta forma, la hoja de cálculo fue diseñada para ser usada de una manera autónoma: no incluye a ningún facilitador, ni forma parte de un curso presencial o virtual, sino que es puesto a disposición de personas interesadas con un conocimiento básico sobre estos fenómenos meteorológicos; buscando

to guide the obtaining and exploitation of standardized precipitation index.

Systematization show that Excel spreadsheet is an easy-management and powerful program to carry out linked statistical works linked to generation of meteorological drought information. It also made it easy and timely to create interactive work with pivot table views.

Financial sources

Strengthening project of Red Agrometeorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Action: Generación de información agrometeorológica de la red de estaciones a nivel nacional.

End of English Version

brindar al usuario una perspectiva amplia y a la vez focalizada sobre los principales aspectos implicados en un proceso de sistematización para la generación de información de sequía, con el fin de guiarlo en la obtención y aprovechamiento del índice de precipitación estandarizado.

La sistematización evidenció que la hoja de cálculo electrónica de Excel es un programa de fácil manejo y muy potente para la realización de trabajos estadísticos vinculados con la generación de información de sequía meteorológica. También permitió crear y trabajar interactivamente con vistas de tablas dinámicas de manera fácil y oportuna.

Fuente de financiación

Fuente de Financiamiento: Proyecto de fortalecimiento de la Red Agrometeorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Acción: Generación de información agrometeorológica de la red de estaciones a nivel nacional.

duration to time scales. p. 179-184. *In*: Proceeding of the Eight Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. January 17-22, Boston, USA.

Literatura citada

- Colotti, E., M. Cedeño y C. Montañez. 2013. La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004. *Terra Nueva Etapa*. XXIX (45): 11-53. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72130180002>. Fecha de consulta: febrero 2015.
- Cortez A., Olivares, B., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, MF., Rey, J.C. 2018. Descripción de los eventos de sequía meteorológica en localidades de la cordillera central, Venezuela. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*. I (1):22-44. doi:10.22206/CYAP.2018.V1I1.PP23-45
- Edwards, D.C. and T.B. McKee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science Paper No. 634*. Climatology Report. (97-2) USA: Colorado State University, Fort. Collins.
- Hernández, R. 2015. Caracterización espacial de la sequía meteorológica (SPI) a nivel semestral noviembre 2014 hasta septiembre 2015, para el territorio nacional. Baruta, Miranda: INAMEH. Disponible en: <http://www.inameh.gob.ve/documentos/>. Fecha de consulta: febrero 2016.
- Loaiza, C.W., E.Y. Carvajal y M.O. Baquero. 2015. **Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia**. *Estudios Geográficos LXXVI* (279):557-578.
- McKee, T., N. Doesken and J. Kleist. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. p. 179-184. *In*: Proceeding of the Eight Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. January 17-22, Boston, USA.
- McKee, T., N. Doesken and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. p. 233-236. *In*: Proceeding of the Ninth Conference on Applied Climatology. Dallas, American Meteorological Society. January 15-20, Dallas USA. TX.
- National Drought Mitigation Center. 2018. SPI Program. University of Nebraska-Lincoln. Disponible en: <https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>. Fecha de consulta: marzo 2020.
- Olivares, B. 2018. Tropical conditions of seasonal rain in the dry-land agriculture of Carabobo, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 27(1):86-102. doi:10.17163/lgr.n27.2018.07
- Olivares, B. and Zingaretti, ML. 2018. Analysis of the meteorological drought in four agricultural localities of Venezuela through the combination of multivariate methods. *UNED Research Journal*. 10 (1):181-192. doi:10.22458/urj.v10i1.2026.
- Olivares, B., A. Cortez, D. Lobo, R. Parra, J.C. Rey y M. Rodríguez. 2016a. Estudio de la sequía meteorológica en localidades de los Llanos de Venezuela mediante el índice de precipitación estandarizado. *Revista Acta Nova* 7(3):266-283.
- Olivares, B., Cortez, A., Rodríguez, M., Parra, R., Lobo, D., Rey, J.C. 2016b. Análisis temporal de la sequía meteorológica en localidades semiáridas de Venezuela. *UGCiencia*. 22 (1):11-24. doi:10.18634/ugcj.22v.1i.481
- Olivares, B., A. Cortez, R. Parra, M.F. Rodríguez y E. Guevara. 2013. Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 30(3):367-391.
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, MF., Rey, J.C.

- 2017a. Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 34 (1): 103-129.
- Olivares, B., Parra, R., Cortez, A., Rodríguez, MF. 2012. Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Multiciencias*. 12 (Extraordinario): 11-17.
- Olivares, B., Zingaretti, ML., Demey Zambrano, JA., Demey, JR. 2017b. Application of the STATIS-ACT method to the rain regime in the Venezuelan Oriental Region. *UNED Research Journal*, 9(1): 97-106.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2012. Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario. Suiza: OMM-No 1090. 23 p. Disponible en: <http://www.wmo.int/drought>. Fecha de consulta: febrero 2015.
- Parra R. and Cortez, A. 2005. Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, (5-6): 63-73.
- Parra, R., Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Rodríguez, MF., Rey, JC. 2018. Características de la sequía meteorológica (1980-2014) en das localidades agrícolas de los andes venezolanos. *Revista de Investigación*, 42(95):38-55.
- Trejo, F. J. P., H. A, Barbosa., I. Q, Ruiz., y M. A, Peñaloza Murillo. 2016. Patrones de circulación atmosféricos oceánicos a meso-escala vinculados a las sequías severas y extensas en Venezuela. *Revista Brasileira de Meteorología*. 31(4): 468-489.
- Wu, H., M. Hayes, D. Wilhite and M. Svoboda. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *Int. J. Climatol*. 25:505-520.