

## Detección de sequías meteorológicas en una región seco tropical de Venezuela, durante el período 1982-2015

Salli Villegas Rivas<sup>1</sup>, Román Montaña Ramírez<sup>2</sup>, Wilfredo Ruíz Camacho<sup>3</sup>, Clelia Jima Chamiquit<sup>4</sup>, Erick Delgado Bazan<sup>5</sup>, Zadith Garrido Campaña<sup>6</sup>, Linder Rubio Cueva<sup>3</sup>, Magali Boñon Pérez<sup>7</sup>, Wagner Colmenares Mayanga<sup>3</sup>, Glissett Mendoza Gastelo<sup>8</sup>, Ángel Paredes Guerrero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Guanare, Venezuela.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Chile, Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú.

<sup>4</sup>Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

<sup>5</sup>Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú.

<sup>6</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Continental, Huancayo, Perú.

<sup>7</sup>I.E. 16001 Ramón Castilla y Marquezado, UGEL Jaén, Cajamarca, Perú.

<sup>8</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.

Autor para correspondencia: Salli Villegas Rivas, marilovillegas@hotmail.com

(Recibido: 15-09-2021. Publicado: 09-11-2021.)

### Resumen

El objetivo de este estudio se basó en detectar las sequías meteorológicas en una región seco tropical de Venezuela. La información utilizada para el estudio se obtuvo del registro de datos meteorológicos, provenientes de series de precipitación mensual de la estación meteorológica "El Tigre Automática", situada dentro del campo experimental del INIA del estado Anzoátegui, para el período 1971-2016. Se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), para una escala mensual del periodo bajo estudio, el cual permitió identificar y describir el fenómeno de sequía, precisando su intensidad, duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia. De acuerdo con los valores de SPI obtenidos, se obtuvo que el nivel de intensidad de extrema sequía en la localidad fue muy bajo (1,27%), siendo pocos frecuentes con magnitudes extremadamente fuerte. Estos eventos de sequía meteorológica se presentaron entre los meses de marzo y septiembre. En virtud de los resultados obtenidos, el SPI a partir de los datos de precipitación permitió detectar los eventos de sequía en la localidad evaluada, logrando así precisar intensidad, duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia de estos; lo que permitiría evaluar la vulnerabilidad de la zona frente a los efectos del cambio climático.

**Palabras clave:** índice de sequía, severidad, sequía meteorológica, índice estandarizado de precipitación.

## Abstract

*The objective of this study was based on detecting meteorological droughts in a tropical dry region of Venezuela. The information used for the study was obtained from the meteorological data record, coming from monthly precipitation series of the meteorological station "Tigre Automática", located within the experimental field of the INIA of the Anzoátegui state, for the period 1971-2016. The Standardized Precipitation Index (SPI) was used for a monthly scale of the period under study, which allowed to identify and describe the drought phenomenon, specifying its intensity, duration, magnitude and frequency of occurrence. According to the RLS values obtained, it was obtained that the level of intensity of extreme drought in the locality was very low (1.27%), being few frequent with extremely strong magnitudes. These meteorological drought events occurred between the months of March and September. By virtue of the results obtained, the SPI from the precipitation data allowed to detect the drought events in the evaluated locality, thus managing to specify intensity, duration, magnitude and frequency of occurrence of these; which would allow to evaluate the vulnerability of the area to the effects of climate change.*

**Keywords:** *drought index, severity, meteorological drought, standardized precipitation index.*

## 1. Introducción

Desde hace varias décadas se ha venido alertando sobre los efectos del cambio climático a nivel mundial, generándose un escenario de aumento general en la severidad de las sequías tanto meteorológicas como hidrológicas, como consecuencia de la reducción de las precipitaciones y el incremento de la evapotranspiración (García et al., 2017). A su vez, este fenómeno de sequía según Campos (2014), se ha extendido por varios años causando déficit en el abastecimiento del recurso hídrico para una determinada actividad, grupo o sector ambiental; considerándolo como uno de los grandes desastres naturales que amenazan a la población mundial, convirtiéndose en eventos temporales y recurrentes (Organización Meteorológica Mundial, 2012). Es por ello que la cuantificación exacta, oportuna y consistente de estas sequías, se empleen para minimizar sus daños a través de la aplicación de índices de sequía (Ntale & Gan, 2003). Entre los índices disponibles, el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) es el más apropiado para monitorear tal tipo de sequías, propuesto por McKee et al. (1993) y ampliamente usado en estudios de caracterización de sequías en cuencas hidrológicas. Como resultado, se ha convertido en uno de los más utilizados por los expertos para el seguimiento y monitoreo de sequías meteorológicas. Es así, como varios autores han analizado la evolución espacio temporal del SPI a diferentes escalas de tiempo; así como también para identificar tendencias y periodicidades de eventos secos y húmedos en series temporales mediante índices secos/húmedos. Dentro de las investigaciones más relevantes en cuanto al estudio de las sequías meteorológicas, se encuentran los aportes realizados por Paredes et al. (2008); Paredes y Guevara (2010); Gocic y Trajkovic (2014); Loaiza et al. (2015); Esquivel et al. (2019); Parra et al. (2018); entre otros.

En el caso particular de Venezuela, a lo largo de la historia el territorio nacional ha pasado por eventos de intensa sequía, producto del inicio tardío del período lluvioso, tal como lo reportan los estudios desarrollados por Olivares et al. (2016); Quiroz et al. (2016) y Olivares (2017). Tal situación ha provocado una disminución en los niveles de agua en la mayoría de las reservas hídricas, generando racionamiento de agua en varias regiones, afectando en mayor magnitud al sector agropecuario y la producción de alimentos en el país. En este sentido, la sociedad y la economía agrícola que se desarrolla en Venezuela son altamente vulnerables a la ocurrencia de eventos de sequía, por lo cual es de vital importancia tener un mejor entendimiento sobre las variaciones de la precipitación, sus tendencias y escenarios futuros. Los efectos del cambio climático pueden ser minimizados si se conocen las zonas más susceptibles, ante su intensidad y periodicidad, para hacerle frente mediante medidas preventivas (Colotti et al., 2013). Es por

ello, que el objetivo principal de esta investigación se basó en detectar las sequías meteorológicas en una región seco tropical de Venezuela, específicamente en el municipio Simón Rodríguez del estado Anzoátegui, para el período 1971-2016; mediante la aplicación del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), el cual permitirá identificar y describir convenientemente el fenómeno, precisando intensidad, duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia.

## 2. Metodología

### 2.1 Zona de estudio

El estudio se desarrolló en la localidad El Tigre, ubicado en el municipio Simón Rodríguez, entre los  $8^{\circ}53'44.77$  latitud norte y  $-64^{\circ}11'52.18$  longitud este; equidistante al río Orinoco y al mar Caribe, en la mesa de Guanipa, cruzada por el río Tigre. Limita al noroeste con los Municipios Pedro María Freites y Guanipa; por el sur con el Municipio Francisco de Miranda; por el este con el Municipio Guanipa; por el oeste con el Municipio Francisco de Miranda y por el sureste con los Municipios Guanipa e Independencia. La región presenta un bioclima seco tropical según la clasificación de Holdridge (1947), con evaporación media anual de 2.626 mm; la temperatura media anual de  $26.9^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa media anual de 78%. Los datos provienen de registros de series de precipitación mensual de la estación meteorológica “El Tigre Automática”, situada dentro del campo experimental del INIA del estado Anzoátegui; para el período 1971-2016.

### 2.2 Índices de sequías

Se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), desarrollado por Mckee, et al. (1993), para una escala mensual del periodo 1971-2016; con la finalidad de caracterizar las sequías meteorológicas en la localidad bajo estudio. Su aplicación requiere del 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; además permite identificar y describir convenientemente el fenómeno, precisando su intensidad, magnitud y duración. Para cada mes se determinó el valor acumulado mensual, obteniéndose así 12 sub-series en cada estación. Se estimaron los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la Distribución de Probabilidad Teórica Gamma (DPTG) asociada a cada una de esas 12 sub-series de precipitación acumulada. La función de densidad de probabilidad de la DPTG está dada por la ecuación 1:

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

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  $\Gamma$ : 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  $\alpha$  y  $\beta$  de la ecuación 1, se utilizó la metodología propuesta por Campos (2005), que se resume a continuación: en primer lugar, se calcula para cada subserie mensual, una variable auxiliar adimensional (A), definida en la ecuación 3:

$$A = \ln x - 1/n \ln x_i \quad (3)$$

Donde  $\ln(x_i)$  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. Posteriormente, la estimación de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de cada subserie se realiza aplicando las ecuaciones 4 y 5.

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

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

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 empleó la Función Gamma Mixta (FGM) propuesta por Thom (1971) y Wu et al. (2005) como sigue en la ecuación 6:

$$H(X) = q + pF(X) \quad (6)$$

Donde ( $q$ ) es la probabilidad de que se presente un valor nulo en la sub-serie, ( $p = 1 - q$ ) es la probabilidad de que no se presente un valor nulo en la sub-serie, y  $H(X)$  es la probabilidad de no excedencia del registro. Una vez obtenidas las 12 series de probabilidades Gamma, se estimó el valor Z o valor de SPI que le corresponde, en una distribución normal estandarizada con media cero y desviación estándar igual a 1.

### 2.2.1 Categorización de la intensidad del SPI

McKee et al. (1993) utilizaron el sistema de clasificación mostrado en la tabla de valores de SPI que se muestra en la Tabla 1, para definir las distintas intensidades de la sequía según 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, mas no constituyen una condición de aridez (Colotti et al. 2013).

**Tabla 1:** Clasificación del SPI.

SPI	CATEGORÍA
2,0 y más	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,9	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
-2 y menos	Extremadamente seco

Fuente: McKee et al. 1993.

### 2.2.2 Determinación de la magnitud, duración y frecuencia de ocurrencia de la sequía

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

$$MS = - \sum_{I=1}^{12} SPI_i \Leftrightarrow SPI_i < 0 \quad (7)$$

Donde ( $MS$ ): representa la magnitud de la sequía para el período evaluado, ( $SPI$ ): es el índice SPI para series de lluvia acumulada mensual. La Tabla 2 muestra las categorías de la magnitud de la sequía.

**Tabla 2:** Magnitud de la sequía.

MS	CATEGORÍA
0,1-0,99	Normal
1-1,99	Leve
2-2,99	Poco fuerte
3-3,99	Fuerte
4-4,99	Muy fuerte
$> 5$	Extremadamente fuerte

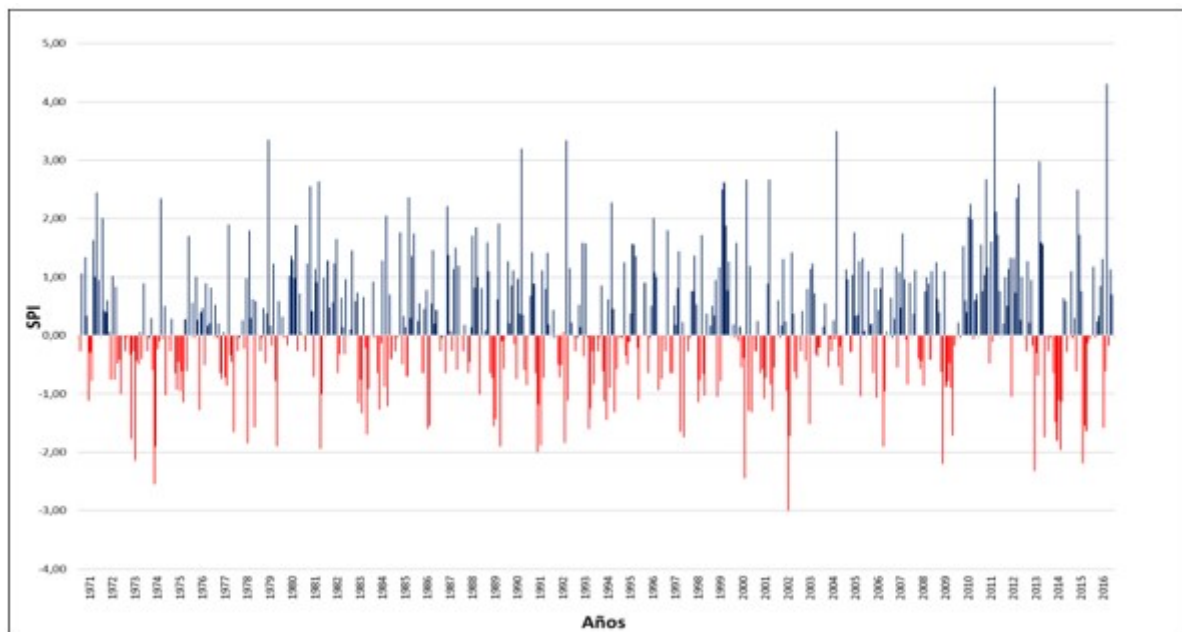
Fuente: Hernández, 2008.

Según McKee et al. (1993) los valores del SPI continuamente negativos alcanzando el valor (-1) o inferior, son considerados una secuencia seca significativa relacionada con la deficiencia suficientemente importante de agua, mientras que los valores positivos se identifican con la categoría normal o húmeda. La frecuencia de ocurrencia se determinó mediante el número de casos de sequía que se producen durante un periodo determinado, estableciendo así, la probabilidad empírica de que ocurra una sequía de determinada magnitud. Para la realización de todos los cálculos se utilizó el programa R Studio.

### 3. Resultados

#### 3.1 Intensidad de la sequía

En la Figura 1 se presenta la intensidad de sequía para el período 1971-2016 en la región seco tropical del estado Anzoátegui. De acuerdo con los registros de lluvia y los valores de SPI obtenidos, se presentó una baja intensidad de sequías extremas, mientras que la intensidad predominante es la sequía normal. Asimismo, los eventos secos de mayor intensidad se reflejaron durante los meses de marzo, junio, julio y agosto. La Tabla 3 muestra que el 65,76% de los índices calculados se encuentran en la categoría normal o aproximadamente normal, entre los meses de enero a abril. Los valores de sequía moderada representan el 5,80% y una intensidad extrema de apenas 1,27% del total de los SPI mensuales. Este comportamiento encontrado coincide con lo reportado por Olivares et al. (2016) y Paredes et al. (2014), quienes usaron el índice de precipitación estandarizado para caracterizar las sequías en los Llanos Centro orientales de Venezuela, coincidiendo con los meses de mayor ocurrencia de eventos secos.



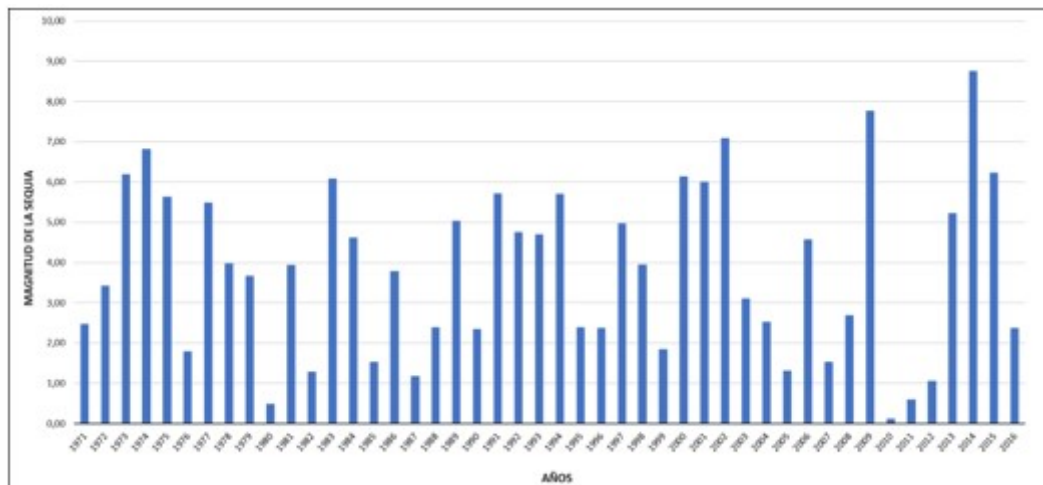
**Figura 1:** Transcurso del SPI mensual para el período 1971-2016, en la región seco tropical del estado Anzoátegui.

**Tabla 3:** Intensidad de la sequía en la región seco tropical del estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

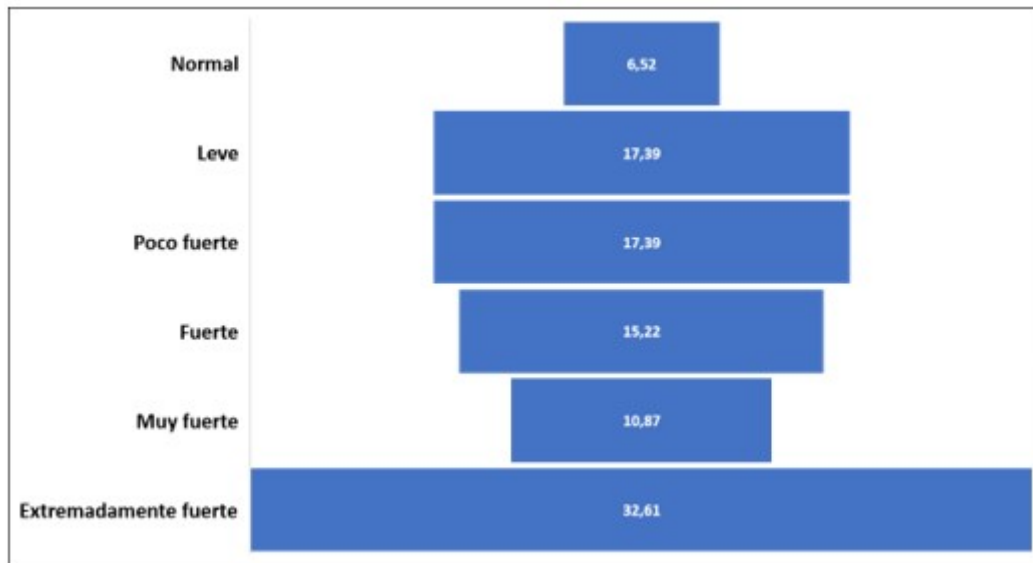
SPI	CATEGORÍA	%
2,0 y más	Extremadamente húmedo	5,07
1,5 a 1,9	Muy húmedo	5,43
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo	11,59
-0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal	65,76
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco	5,80
-1,5 a -1,99	Severamente seco	5,07
-2 y menos	Extremadamente seco	1,27

### 3.2 Magnitud de la sequía

En relación con la magnitud de los eventos de sequía, en la Figura 2 se muestran los valores obtenidos mediante el SPI, donde se evidencia que el 76 % de los años evaluados presentaron valores de magnitud de 2 o más, traduciéndose en una magnitud de sequía que va desde un nivel poco fuerte hasta el nivel extremadamente fuerte. Tal situación permite establecer que los episodios sequías en la zona bajo estudio son pocos recurrentes y tienden a ser de poca magnitud. La Figura 3 muestra los resultados en la frecuencia de ocurrencias de eventos de sequías, denotando una distribución de 32,61 % para la frecuencia extremadamente fuerte, manifestada en 15 años del total del período estudiado. En este sentido, autores como Loaiza et al (2015); Olivares (2016) y Paredes et al. (2014), refieren que estas magnitudes extremadamente fuertes están asociadas a duraciones de varias agrupaciones temporales consecutivas de intensidades extremas y severas. Las frecuencias fuertes y poco fuertes presentaron una frecuencia de ocurrencia del 15,22 % y 17,39 % respectivamente. Asimismo, Olivares et al. (2016), señalaron que esas frecuencias de ocurrencias están asociadas a duraciones temporales de un mes, pudiendo tener una intensidad alta. Finalmente, los resultados demuestran un nivel de frecuencia muy fuerte del 10,87 % y un nivel de frecuencia leve y normal del 23,91 % entre ambas.



**Figura 2:** Distribución de las magnitudes de las sequías en la región seco tropical del estado Anzoátegui; para el período 1971-2016.



**Figura 3:** Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en la región seco tropical del estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

### 3.3 Duración de las magnitudes máximas de las sequías

En la Tabla 4 se muestran las tres magnitudes máximas de sequía detectadas en la zona de estudio para el período 1971-2016, observándose que la mayor magnitud de sequía se presentó en el año 2014; con un valor de 8,76 y un nivel de precipitación anual de 18,57 mm, distribuidos en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Asimismo, la segunda magnitud máxima refleja tuvo un valor de 7,78 para los meses de mayo y noviembre en el año 2009, con un valor anual de precipitación de 23,87 mm; y finalmente se evidenció una tercera magnitud máxima de sequía de 7,09 en el año 2002 entre los meses de julio y agosto; con un nivel anual de precipitación de 25,04 mm. Estos resultados coinciden con los datos reportados por Olivares et al. (2017), quienes atribuyen este fenómeno a los eventos del Niño relacionados con situaciones de sequía e incremento de la temperatura y a su vez lo ven asociado con la deforestación para la ampliación de áreas para la crianza extensiva de ganado.

**Tabla 4:** Duración de las magnitudes máximas detectadas en la región seco tropical del estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

MAGNITUD	DURACIÓN	LLUVIA TOTAL ANUAL (mm)
7,09	Julio - Agosto (2002)	25,04
7,78	Mayo y Noviembre (2009)	23,87
8,76	Mayo - Septiembre (2014)	18,57

## 5. Conclusiones

El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) aplicado para la región El Tigre del estado Anzoátegui; permitió detectar los eventos de sequías meteorológicas en cuanto a la intensidad, magnitud y duración. Los resultados de esta investigación evidenciaron que el nivel de intensidad de extrema sequía en la localidad durante el período de 1971-2016 fue muy bajo (1,27%), siendo pocos frecuentes con magnitudes extremadamente fuerte. Por otra parte, se puede establecer que estos eventos de sequía meteorológicas tendieron a presentarse entre los meses de marzo y



septiembre. En virtud de los resultados obtenidos, el SPI a partir de los datos de precipitación, permitió detectar los eventos de sequía en la localidad evaluada, logrando así precisar intensidad, duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia de estos; lo que permitirá evaluar la vulnerabilidad de la zona frente a los efectos del cambio climático.

## Referencias bibliográficas

Campos D (2014): Comparación de tres métodos estadísticos para detección y monitoreo de sequías meteorológicas. *Agrociencia*, 48:463-476.

Colotti E, Cedeño M, Montañez C (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: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72130180002>

Edwards DC, McKee TB. (1997): Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science Paper No. 634*. Climatology Report (97-2).

Esquivel G, Cerano J, Sánchez I, Velásquez M, Flores F, Bueno P (2019): Análisis temporal de sequías (1922-2016) en la cuenca alta del río Nazas usando el SPI y su relación con ENSO. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(3):126-153. DOI: 10.24850/j-tyca-2019-05-05

García P, Nicolás A, Velásquez M (2017): Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean basin. *Journal of Hydrology*, 554:292-305, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.09.028.

Gocic M, Trajkovic S (2014): Spatio-temporal characteristics of drought in Serbia. *J. Hydrol.* 510:110-123.

Hernández R. (2008): Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos Centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos. Trabajo de Grado. Centro de Investigación y Postgrado. UNEFA-CIP. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Maracay, Venezuela.

Holdridge LR (1947): Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(27):367-368. DOI: 10.1126/science.105.2727.367

Loaiza W, Carvajal Y, Baquero O (2015): Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia. *Programa editorial de la Universidad del Valle*. 76(279):557-578. DOI: 10.3989/estgeogr.201520

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology (pp. 179-184), Anaheim, California, American Meteorological Society, Boston.

Ntale K, Gan Y (2003): Drought indices and their application to East Africa. *International*

*Journal of Climatology*, 23(11):1335-1357.

Olivares B, Cortez A, Rodríguez M, Parra M, Lobo L, Rey J (2016): Análisis temporal de la sequía meteorológica en localidades semiáridas de Venezuela. *UGCiencia* 22:11-24.

Olivares B (2017): La sequía meteorológica en territorios agrícolas de Venezuela: un análisis temporal del fenómeno meteorológico y su impacto en la agricultura venezolana. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.

Organización Meteorológica Mundial (2012): Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf).

Paredes F, Millano JL, Guevara E (2008): Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*, 8:15-27.

Paredes F, Guevara E (2010): Desarrollo y evaluación de un modelo para predecir sequías meteorológicas en Los Llanos de Venezuela. *Revista Bioagro*, 22(1):3-10.

Paredes F, La Cruz F, Guevara E (2014): Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Bioagro*, 26(1):21-28.

Parra R, Olivares B, Cortez A, Lobo D, Rey J, Rodríguez M (2018): Características de la sequía meteorológica (1980-2014) en dos localidades agrícolas de los Andes Venezolanos.

Quiroz RI, Paredes F, Guevara E (2016): Incidencia de las sequías sobre las cuencas aportantes a los grandes embalses en Venezuela. *Ágora de heterodoxias*, 2(3):65-89.