

## Análisis comparativo de cuatro índices para la caracterización de sequías meteorológicas en la localidad El Tigre, Estado Anzoátegui, Venezuela

Ana Nieves Maríñez<sup>1</sup>, José Manuel Palacios Sánchez<sup>2</sup>, César Osorio Carrera<sup>3</sup>, Felicia Lelia Cáceres Narrea<sup>2</sup>, Nancy Carruitero Ávila<sup>4</sup>, Walter Hugo Alva Miguel<sup>2</sup>, Juan De La Cruz Lozado<sup>4</sup>, José Paredes Carranza<sup>5</sup>, Pedro Córdova Mendoza<sup>6</sup>, Teresa Barrios Mendoza<sup>7</sup>, Isis Córdova Barrios<sup>6</sup>, Alex Llaque Sánchez<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela.

<sup>2</sup>Facultad de Educación. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima. Perú.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.

<sup>4</sup>Escuela de Postgrado. Universidad César Vallejo. Perú.

<sup>5</sup>Escuela Profesional de Tecnología Médica. Universidad Nacional de Jaén. Cajamarca. Perú.

<sup>6</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", Ica, Perú.

<sup>7</sup>Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica, Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", Ica, Perú.

<sup>8</sup>Centrum Business School. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Autor para correspondencia: Ana Nieves Maríñez, ananieves66@gmail.com

(Recibido: 24-08-2021. Publicado: 04-10-2021.)

### Resumen

El objetivo de este estudio se basó en el análisis comparativo de los eventos de sequías meteorológicas caracterizados mediante la aplicación de cuatro índices, en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui. 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 utilizaron los índices de precipitación estandarizado (ISP), índice estadístico Z (IEZ), índice Z chino (IZC) y porcentaje de precipitación normal (PPN), basados en datos de precipitación mensual, lo cual permitió identificar y describir los eventos de sequía en la localidad en estudio. Los resultados obtenidos con los índices IEZ, IZC y PPN reflejaron valores heterogéneos en los porcentajes de ocurrencia de sequías, sobre todo en el reconocimiento de sequías severas y extremas; en comparación con el ISP. Con base en lo anterior, el ISP demostró poseer mayor sensibilidad a los cambios de precipitación, resultando ser la mejor opción para la detección de los eventos de sequía por ser más consistente y confiable.

**Palabras clave:** índice de sequía, sequía meteorológica, índice estandarizado de precipitación, índice estadístico Z, índice Z China, porcentaje de precipitación normal.

## Abstract

The objective of this study was based on the comparative analysis of meteorological drought events characterized by the application of four indices, in the town of El Tigre, Anzoátegui state. The information used for the study was obtained from the record of meteorological data, from monthly precipitation series of the meteorological station "El Tigre Automática", located within the experimental field of the INIA of the state of Anzoátegui, for the period 1971-2016. Standardized precipitation indices (ISP), statistical index Z (IEZ), Chinese Z index (IZC) and percentage of normal precipitation (PPN) were used, based on monthly precipitation data, which allowed to identify and describe drought events in the locality under study. The results obtained with the IEZ, IZC and PPN indices reflected heterogeneous values in the percentages of occurrence of droughts, especially in the recognition of severe and extreme droughts; compared to the ISP. Based on the above, the ISP demonstrated greater sensitivity to precipitation changes, proving to be the best option for the detection of drought events because it is more consistent and reliable.

**Keywords:** index, meteorological drought, standardized precipitation index, Z statistical index, Z index China, percentage of normal precipitation.

## 1. Introducción

Las sequías meteorológicas son uno de los grandes desastres naturales que amenazan a la población del mundo, cuyos impactos negativos alcanzan aspectos ambientales, económicos y sociales, convirtiéndose en eventos temporales y recurrentes. 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). En este sentido, se han generado múltiples métodos e índices para caracterizar estos eventos (Hayes, 2000), con diferentes enfoques y parámetros; que por lo general utilizan datos de precipitación mensual o anual, por ser los de registro disponible más amplio y también los de mayor cobertura espacial, en comparación con otras variables climáticas y/o hidrológicas (Pandey, et al. 2008). Es así como, dependiendo de la manera en que se procesan los datos de precipitación, los índices de sequías permitirán su detección o bien estimarán su severidad, frecuencia y cobertura espacial. De ahí que, en las últimas décadas se han desarrollado numerosos índices para la identificación y seguimiento de eventos de sequía, basados en la cantidad y calidad de datos disponibles, y en la habilidad que estos tienen en detectar las variaciones, siendo uno de los más utilizados el índice de precipitación estandarizado (SPI) por su facilidad en los cálculos, ya que utiliza como parámetro de entrada únicamente la precipitación y puede utilizarse para varios períodos de tiempo con los mismos datos de entrada (Morid et al., 2006).

A pesar de ello, se han llevado a cabo diferentes estudios donde se hace una revisión de los indicadores de sequía existentes, pero son pocos los estudios que han realizado comparaciones estadísticas entre los diferentes índices para identificar impactos en distintos sistemas. Es así que, autores como Keyantash y Dracup (2002) evaluaron varios índices, encontrando que el índice de precipitación Estandarizado (SPI) era mejor indicador para sequías meteorológicas. Asimismo, Quiring (2009) evaluó siete índices de sequía utilizados en Estados Unidos, resultando con mejor puntaje el SPI, seguido por el porcentaje de precipitación normal (PPN). En el sur de América, Rivera (2014) comparó el desempeño de seis índices de sequía basados en datos de precipitación, concluyendo que el índice más adecuado era el SPI. No obstante, autores como Dogan et al. (2012); Hayes (2000); Morid et al. (2006); Smakhtin y Hughes (2007); aplicaron el porcentaje de precipitación normal (PPN) para estudiar el comportamiento de las sequías, señalándolo como uno de los más utilizado, por su simplicidad en los cálculos y fácil interpretación; al igual que, Alessandro (2008), quien utilizó el porcentaje de precipitación normal (PPN) con el fin de evaluar los patrones de circulación asociados a la sequía en Argentina. Por otra parte, autores como

Krepper y Zucarelli (2012) realizaron comparaciones considerando los índices ISP, Z-Score y Z China, encontrando diferencias entre ellos. Es así, que estos índices han resultado ser útiles en la detección de sequías, seguimiento y estimación indirecta de sus impactos, lo cual ha permitido elaborar planes de prevención y contingencia contra tales eventos, a pesar de no ser capaces de cuantificar los daños económicos (Mishra y Singh, 2010; Lobato, 2016). De igual modo, hay que destacar que ninguno de ellos es inherentemente superior a todos los demás en todas las circunstancias; sino más bien, algunos de ellos se ajustan mejor que otros en ciertas situaciones. Es por ello, que el objetivo de este estudio se basó en el análisis comparativo de los eventos de sequías caracterizados mediante la aplicación de cuatro índices de sequía diferentes: el índice de precipitación estandarizado (ISP), índice estadístico Z (IEZ), índice Z chino (IZC) y porcentaje de precipitación normal (PPN); basados en datos de precipitación mensual, para la detección de sequías meteorológicas en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui.

## 2. Metodología

### 2.1 Zona de estudio

La localidad El Tigre se encuentra ubicado en el municipio Simón Rodríguez, entre los 8°53'44.77 latitud norte y -64°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. El clima es de sabana, con temperaturas que oscilan entre los 20°C y 36°C, con una media aproximada de 27°C y una precipitación media anual aproximada de 1.200 m.m. La información utilizada para la investigación se obtuvo a partir 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. Con relación a los cálculos realizados para cada uno de los índices abordados (ISP, IEZ, IZC y PPN), se emplearon secuencias de sequías para 1 y 3 meses.

### 2.2 Índices de sequías

#### 2.2.1 Determinación del índice de precipitación estandarizado (ISP)

Se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), desarrollado por McKee, et al. (1993), para una escala mensual del periodo 1982-2015; 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. 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:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_1^n \ln x_i}{n'} \quad (3)$$

Donde  $\ln(x_i)$  es el logaritmo neperiano del registro acumulado,  $n'$  representa el número de registros no nulos, y 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.

## 2.2.2 Determinación del índice estadístico Z (IEZ)

Este índice permite la comparación entre observaciones procedentes de poblaciones normales diferentes; su designación proviene de la variable normal estandarizada (Z), definida por Wu et al. (2001) como:

$$IEZ_{k,j} = \frac{X_{k,j} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (7)$$

en la cual  $X_{k,j}$  es la precipitación de la secuencia  $j$  y de un periodo  $k$ , que es de 1 y 3 meses. La media y desviación estándar de la ecuación (7) son:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n_d} \sum_{j=1}^{n_d} X_{k,j} \quad (8)$$

$$S_k = \left[ \frac{1}{n_d} \sum_{j=1}^{n_d} (X_{k,j} - \bar{x}_k)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

### 2.2.3 Determinación del índice Z China (IZC)

Este índice asume que la precipitación mensual procede de una distribución Pearson tipo III y por ello emplea la aproximación Wilson-Hilferty para relacionar al IEZ con este índice (Wu et al., 2001; Morid et al., 2006; Dogan et al., 2012), según la siguiente expresión:

$$IZC_{k,j} = \frac{6}{Cs_k} \left( \frac{Cs_k}{2} IEZ_{k,j} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{Cs_k} + \frac{Cs_k}{6} \quad (10)$$

siendo  $Cs_k$  el coeficiente de asimetría, cuya ecuación es:

$$Cs_k = \frac{\sum_{j=1}^{n_d} (X_{k,j} - \bar{x}_k)^3}{n_d \cdot S_k^3} \quad (11)$$

### 2.2.4 Determinación del porcentaje de precipitación normal (PPN)

Es uno de los índices de sequía más utilizado dado a la simplicidad de los cálculos y su interpretación intuitiva, según World Meteorological Organization y Global Water Partnership (2016). El porcentaje de la precipitación normal (PPN) es una de las medidas más directas del desvío de la precipitación respecto a su promedio de largo plazo, descritos por Morid et al (2006). Igualmente, Hayes (2000) refiere que los estudios que utilizan el PPN son efectivos cuando se aplican en una región particular o una única estación astronómica, dado que el índice puede malinterpretarse cuando se generaliza a regiones amplias. La determinación de este índice involucra dos pasos; primero, se obtiene el valor medio ( $X_{med}$ ) para el mes o los meses considerados, luego, el valor de precipitación ( $X_i$ ) se divide por la media y se multiplica por 100 a fin de obtener el PPN, tal como se muestra en la ecuación:

$$PPN = \frac{X_i}{X_{med}} \cdot 100 \quad (12)$$

Se considera que un valor de precipitación es normal (100%) cuando coincide con el valor medio para una dada ubicación. El PPN puede calcularse para una variedad de escalas temporales,

desde un único mes a un conjunto de meses que representen estaciones astronómicas o años hidrológicos.

### 2.3 Criterios de comparación

La comparación de los 4 índices de sequía se realizó en escalas de 1 y 3 meses, las cuales han sido utilizadas por otros autores como Wu et al. (2001) y Dogan et al. (2012). En este sentido, los tres índices de sequías IEZ, IZC y SPI poseen el mismo rango de valores numéricos, por lo tanto, permiten la comparación entre ellos, en relación con la severidad de las sequías, sin importar las diferencias climáticas entre ellas. Los valores umbral de los índices positivos definen lapsos húmedos y sus valores negativos los episodios de sequía de acuerdo con lo que se muestra en la Tabla 1. Por el contrario, el índice de porcentaje de precipitación normal difiere totalmente en los valores rangos de categorización, obtenidos por Morid et al. (2006), los cuales se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 1:** Categorización de los periodos húmedos y secos con base en el valor del índice IEZ, IZC y SPI.

Valor del índice	Designación	Probabilidad de ocurrencia (%)
>2.00	Húmedo extremo	2.28
1.50 a 1.999	Húmedo severo	4.40
1.00 a 1.499	Húmedo moderado	9.19
0 a 0.999	Húmedo ligero	34.13
0 a -0.999	Sequía leve (SL)	34.13
-1.00 a -1.499	Sequía moderada (SM)	9.19
-1.50 a -1.999	Sequía severa (SS)	4.40
-2.00 o menor	Sequía extrema (SE)	2.28

Fuente: Smakhtin y Hughes, 2007; Dogan et al., 2012.

**Tabla 2:** Categorización de los periodos secos y húmedos con base al valor del índice de porcentaje de precipitación normal (PPN).

Categoría	PPN
Sequía extrema	$0\% \leq \text{PPN} < 25\%$
Sequía severa	$25\% \leq \text{PPN} < 50\%$
Sequía moderada	$50\% \leq \text{PPN} < 75\%$
Sequía leve	$75\% \leq \text{PPN} < 100\%$
Ligeramente húmedo	$100\% \leq \text{PPN} < 125\%$
Moderadamente húmedo	$125\% \leq \text{PPN} < 150\%$
Severamente húmedo	$150\% \leq \text{PPN} < 175\%$
Extremadamente húmedo	$\text{PPN} \leq 175\%$

Fuente: Morid et al. (2006).

### 3. Resultados

#### 3.1 Índice de precipitación estandarizado (ISP)

En la tabla 3 se muestran los porcentajes de ocurrencia de sequías obtenidos a través del ISP para un período de sequía mensualizado, evidenciándose eventos de sequías extremas en 1,27 % para los años 1973, 1974, 2000, 2002, 2009, 2013 y 2014, reflejándose únicamente en espacios de un mes para cada uno de los años; mientras que los eventos de sequía severa se presentaron en un 5,07 %, siendo los años 1986 y 2015 con mayor ocurrencia. Asimismo, se observa ocurrencia de sequías leves y moderadas en un 42,76 % en contraposición con los eventos húmedos que se presentaron en un 50,89 %, a lo largo del período bajo estudio. Con respecto a la ocurrencia de sequías extremas para la secuencia trimestral, se observa una diferencia de 0,23 % con respecto a la mensualizada, detectándose con mayor incidencia en el año 2014; mientras que los eventos de sequía severa se manifestaron en un 4,2 % con mayor énfasis en los años 1974, 1989 y 2009. No obstante, los eventos húmedos estuvieron presentes en un 55,9 % durante todo el período.

**Tabla 3:** Porcentaje de ocurrencia de los tipos de sequías obtenidos con el índice de precipitación estandarizado (ISP) para 1 y 3 meses de sequías, en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

Designación	Duración de secuencias analizadas (meses)	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	5,07	10,2
Húmedo severo	5,43	5,3
Húmedo moderado	11,59	8,4
Húmedo ligero	28,80	32,0
Sequía leve (SL)	36,96	30,0
Sequía moderada (SM)	5,80	8,5
Sequía severa (SS)	5,07	4,2
Sequía extrema (SE)	1,27	1,5

#### 3.2 Índice estadístico Z (IEZ)

En la tabla 4 se reflejan los valores obtenidos mediante la aplicación del IEZ, para ambas secuencias analizadas, donde se observa que para el período 1971-2016 no hubo eventos de sequía extrema, severa y moderada para el cálculo mensualizado; más, sin embargo, arroja un 58,9 % de ocurrencia de eventos de sequía leve con mayor incidencia en el año 2014, seguido de los años 1973, 1989, 1991, 2009 y 2015. En relación con los valores trimestrales, se distinguen eventos de sequías moderadas en menor proporción que los eventos de sequías leves, con una ocurrencia del 18,7 % siendo los años 1973 y 1984 con mayor intensidad; mientras que los eventos de sequía leve se presentaron en un 37,8 % con énfasis en el año 1989, seguido de los años 2000, 2009 y 2014.

**Tabla 4:** Porcentaje de ocurrencia de los tipos de sequías obtenidos con el índice estadístico Z (IEZ) para 1 y 3 meses de sequías, en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

Designación	Duración de secuencias analizadas (meses)	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	4,7	3,8
Húmedo severo	5,3	5,5
Húmedo moderado	7,2	8,7
Húmedo ligero	23,9	25,5
Sequía leve (SL)	58,9	37,8
Sequía moderada (SM)	0,0	18,7
Sequía severa (SS)	0,0	0,0
Sequía extrema (SE)	0,0	0,0

### 3.3 Índice Z China (IZC)

En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos mediante la aplicación del IZC, reflejando la ausencia de eventos de sequía extrema y severa para ambas secuencias analizadas. En relación con el análisis mensualizado, se obtuvo una ocurrencia de 15,2 % de sequía moderada con énfasis en los años 1987, 1997 y 2014, y un 39,5 % de sequía leve; mientras que, para una secuencia trimestral, se obtuvo una ocurrencia del 19,6 % de sequía moderada, siendo los años 1973 y 1984 con mayor cantidad de episodios.

**Tabla 5:** Porcentaje de ocurrencia de los tipos de sequías obtenidos con el índice Z China (IZC) para 1 y 3 meses de sequías, en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

Designación	Duración de secuencias analizadas (meses)	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	2,5	2,5
Húmedo severo	5,4	5,3
Húmedo moderado	9,4	10,9
Húmedo ligero	27,9	28,0
Sequía leve (SL)	39,5	33,6
Sequía moderada (SM)	15,2	19,6
Sequía severa (SS)	0,0	0,0
Sequía extrema (SE)	0,0	0,0

### 3.4 Determinación del porcentaje de precipitación normal (PPN)

En la tabla 6 se muestran los valores obtenidos con el PPN, dónde se observan eventos de sequía extrema de 32,1 %, viéndose este comportamiento para los años 1974, 1984, 1994, 2001 y 2014, cuando se analiza a una secuencia mensual. En cambio, para la secuencia trimestral se observa una ocurrencia de sequía extrema de 23,1 % durante los años 1974, 1984 y 1994 principalmente.

**Tabla 6:** Porcentaje de ocurrencia de los tipos de sequías obtenidos con el índice de precipitación normal (PPN) para 1 y 3 meses de sequías, en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

Designación	Duración de secuencias analizadas (meses)	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	21,4	21,1
Húmedo severo	5,8	7,3
Húmedo moderado	7,2	8,4
Húmedo ligero	6,7	7,1
Sequía leve (SL)	5,4	9,6
Sequía moderada (SM)	9,8	8,2
Sequía severa (SS)	11,6	15,3
Sequía extrema (SE)	32,1	23,1

### 3.5 Relación entre los índices de sequía y comparación de las categorizaciones

En la tabla 7 se muestran los porcentajes de ocurrencia de sequía obtenidos para cada uno de los índices de sequía evaluados. Con relación a los datos obtenidos por el ISP y el IEZ, se observa un comportamiento heterogéneo, tanto en la secuencia mensualizada como en el trimestral, dado que el IEZ no fue capaz de detectar los eventos de sequía moderada, severa y extrema para la secuencia mensualizada, así como tampoco reveló la presencia de eventos de sequía severa y extrema en la secuencia trimestral, en comparación con el ISP que sí los reflejó para ambas secuencias analizadas; esta situación podría estar asociado al hecho que las series de precipitación no se ajustan a una distribución normal, lo cual estaría afectando los valores del IEZ, tal como lo reportaron Ortiz et al. (2018) y Penalba et al. (2014). Por otra parte, se evidencia cierta similitud en los resultados obtenidos con el IEZ y el IZC, ya que tienden a subestimar la ocurrencia de sequía severa y extrema en ambas secuencias; así como también reflejaron la ocurrencia de sequías leves, a excepción de la sequía moderada que no fue detectada por el IEZ en la secuencia mensualizada, coincidiendo este comportamiento con lo reportado por Campos (2017). En cuanto al IZC y el ISP, al compararlos se observan valores muy cercanos en el porcentaje de ocurrencia de sequías leves; en contraste con los eventos de sequía severa y extrema, donde se aprecian diferencias entre ellos. En efecto, los resultados del PPN resultaron ser el menos sensibles, dado que sobreestimó notoriamente las condiciones de sequía severa y extrema, lo cual podría estar asociado a los umbrales propuestos para la categorización de sequías, situación presentada en un estudio realizado por Dogan et al. (2012).

**Tabla 7:** Porcentaje de ocurrencia de los tipos de sequías obtenidos con los cuatro índices aplicados (ISP, IEZ, IZC y PPN) para secuencias de 1 y 3 meses, en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui, para el período 1971-2016.

Tipo de sequía	Índices y duración de secuencias analizadas (meses)							
	ISP		IEZ		IZC		PPN	
	1	3	1	3	1	3	1	3
SL (%)	36,96	30,0	58,9	37,8	39,5	33,6	5,4	9,6
SM (%)	5,80	8,5	0,0	18,7	15,2	19,6	9,8	8,2
SS (%)	5,07	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	15,3
SE (%)	1,27	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	32,1	23,1

## 5. Conclusiones

En este trabajo se realizó una comparación de los datos obtenidos con los índices ISP, IEZ, IZC y PPN, basados en datos de precipitación mensual como variable de entrada; con la finalidad de categorizar la sequía en la localidad El Tigre, estado Anzoátegui. Con base a los resultados derivados, se aprecia que los índices IEZ, IZC y PPN reflejan valores heterogéneos entre sí, sobre todo en el reconocimiento de sequías severas y extremas; en comparación con los valores arrojados por el ISP, que demostró poseer mayor sensibilidad a los cambios de precipitación, resultando ser la mejor opción para la detección de los eventos de sequía por ser más consistente y confiable; razón por la cual se ha convertido en uno de los índices con mayor aplicabilidad en diferentes sistemas.

## Referencias bibliográficas

- Alessandro P, (2008): Anomalías de circulación atmosférica en 500 y 1000 hPa asociada a la sequía producida en la Argentina durante enero de 2003 a marzo de 2004. *Revista Brasileira de Meteorología*, 23:12-29.
- Campos F (2017). Cuantificación de sequías meteorológicas mensuales: cotejo de cuatro índices en tres localidades de San Luis Potosí, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3):159-172.
- Dogan S, Berktaş A, Singh P (2012): Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470-471:255-268.
- Hayes J (2000): Drought indices. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, Estados Unidos. <http://drought.unl.edu>.
- Keyantash J, Dracup J, (2002): The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 83, 1167-1180.
- Krepper M, Zucarelli V, (2012): Climatology of Water Excess and Shortages in the La Plata Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 102:13-27.
- Lobato R (2016): El monitor de la sequía en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5):197-211.
- 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.
- Mishra K, Singh P (2010): A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2):202-216.
- Morid S, Smakhtin V, Moghaddasi M (2006): Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26(7):971-985.

Ntale K, Gan Y (2003): Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology*, 23(11):1335-1357.

Ortiz R, Cárdena J, Ortiz F, Alvarado P (2018): Characterization of droughts by comparing three multiscale indices in Zacatecas, Mexico. 9(3):47-91. DOI:10.24850/j-tyca-2018-03-03.

Pandey P, Dash B, Mishra K, Singh R (2008): Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India). *Hydrological Processes*, 22(12):1895-1907.

Penalba O, Rivera J (2014): Trends and Spatial Patterns of Drought Affected Area in Southern South America. *Journal Climate*. 2, 264-278; DOI:10.3390/cli2040264

Quiring M (2009): Monitoring Drought: An Evaluation of Meteorological Drought Indices. *Geography Compass*, 3(1):64-88.

Rivera JA (2014): Aspectos climatológicos de las sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica - Análisis regional y proyecciones futuras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 351 pp.

Smakhtin U, Hughes A (2007): Automated estimation and analysis of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environmental Modelling & Software*, 22(6):880-890.

World Meteorological Organization y Global Water Partnership (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices. In M. Svoboda, & B.A. Fuchs (Eds.), *Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2*. Geneva: Integrated Drought Management Programme (IDMP).

Wu H, Hayes J, Weiss A, Hu Q (2001): An evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21(6):745-758.