

Análisis de la sequía meteorológica en una región tropical de sabana de Venezuela, mediante la comparación de cuatro índices de sequías

Ana Nieves Maríñez¹, Víctor Rojas Lujan², José Sosa Sánchez³, Abimel López García⁴, Víctor Manuel Reyes², Carlos Deza Navarrete², Frank Díaz Valiente², Yoni Valiente Saldaña⁵, José Paredes Carranza⁶, Luis Ramirez Calderón⁷

¹Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela.

²Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Tumbes, Perú.

³Facultad de Ingeniería. Universidad Daniel Alcides Carrión. Perú.

⁴Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Tumbes. Perú.

⁵Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

⁶Facultad de Tecnología Médica. Universidad Nacional de Jaén. Perú.

⁷Escuela de Postgrado. Universidad César Vallejo. Perú.

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

(Recibido: 01-10-2021. Publicado: 12-12-2021.)

Resumen

El objetivo de este estudio se basó en el análisis de la sequía meteorológica en una región tropical de sabana de Venezuela, mediante la comparación de cuatro índices de sequía diferentes. La información utilizada para el estudio se obtuvo del registro de datos meteorológicos, provenientes de series de precipitación mensual de la estación agrometeorológica “Ciudad Bolívar”, situada dentro del campo experimental del INIA en el estado Barinas; 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 analysis of meteorological drought in a tropical savannah region of Venezuela, by comparing four different drought indices. The information used for the study was obtained from the record of meteorological data, from monthly precipitation series of the agrometeorological station "Ciudad Bolívar", located within the experimental field of the INIA in the state of Barinas; for the period 1971-2016. Standardized precipitation indices (ISP), statistical index Z (IEZ), Chinese Z index (IZC) and normal precipitation percentage (PPN), based on monthly precipitation data, were used, 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: drought index, meteorological drought, standardized precipitation index, Z statistical index, China Z index, normal precipitation percentage.

1. Introducción

La sequía es considerada como una manifestación dramática de la variabilidad del ciclo hidrológico del planeta y uno de los fenómenos climáticos más complejos que afectan a la sociedad y el medio ambiente (Bonsal et al., 2011). Es un evento hidrometeorológico extremo que puede ocurrir en prácticamente cualquier tipo de clima existente, que afecta sin distinción a países desarrollados o en desarrollo (Mishra y Singh, 2010); y cada vez más está afectando a una mayor superficie de Tierra, especialmente en las zonas tropicales y en latitudes medias. Asimismo, la sequía es uno de los eventos que más daños ha provocado en sectores como la agricultura y el ambiente, conllevando a una mayor demanda del recurso hídrico para satisfacer las diferentes actividades que se realizan a diario (Quesada et al., 2019); siendo probable que para las próximas décadas estos eventos sean más frecuentes y severos a raíz del cambio climático (Ovalles et al., 2008). En el caso particular de Venezuela, el territorio nacional ha atravesado a lo largo de la historia por eventos de intensa sequía, producto del inicio tardío del período lluvioso, tal como lo reportan los estudios desarrollados por Paredes et al. (2008); Olivares et al. (2016a); Quiroz et al. (2016). En este sentido 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 y Gan, 2003). Es por ello que, 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).

En Venezuela las investigaciones orientadas a la caracterización de sequías meteorológicas son recientes, y pocos han sido los estudios que han realizado comparaciones estadísticas entre los diferentes índices para identificar los impactos en distintos sistemas. No obstante, en otros países se han realizado investigaciones referentes al tema, entre ellos tenemos los aportes de Adnan et

al. (2017); Bayissa et al. (2018) y Quesada et al. (2020), en las que evaluaron diferentes índices de sequía con especial énfasis en las capacidades estadísticas como la robustez o la consistencia para reproducir eventos históricos desde una perspectiva física. Asimismo, Keyantash y Dracup (2002) evaluaron varios índices, encontrando que el índice de precipitación Estandarizado (SPI) era mejor indicador para sequías meteorológicas. Por su parte, 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); 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). Es por ello, que el objetivo de este estudio se basó en el análisis de la sequía meteorológica en una región tropical de sabana de Venezuela, mediante la comparación de cuatro índices de sequía diferentes: 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.

2. Metodología

2.1 Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Ciudad Bolivia, ubicado en el municipio Pedraza del estado Barinas, entre $08^{\circ}22'360''$ latitud norte y $70^{\circ}36'09,0''$ longitud oeste; a una altura de 208 m.s.n.m., caracterizada por estar rodeada de los caudalosos ríos como el Canaguá y La Acequia. Limita al norte con el estado Mérida y el municipio Bolívar del estado Barinas; por el sur con el estado Apure; por el este con el municipio Barinas y por el oeste con el municipio Antonio José de Sucre. El clima es tropical de sabana (Aw) de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, con una temperatura media aproximada de 27°C y una precipitación media anual aproximada de 1.824 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 agrometeorológica “Ciudad Bolivia”, situada dentro del campo experimental del INIA en el estado Barinas; 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 período 1970-2016; 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 períodos 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 subseries. Se estimaron los parámetros α y β de la Distribución de Probabilidad Teórica Gamma (DPTG) asociada a cada una de esas 12 subseries 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 β): 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 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:

$$A = \ln \bar{x} - 1 \ln n \bar{x} \quad (3)$$

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 α y β 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:

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

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 secuenciales 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 períodos 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 períodos secos y húmedos con base al valor del índice de porcentaje de precipitación normal (PPN).

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

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 6,5% para los años 1972, 1973, 1975, 1976, 1977, 1978, 1983, 1986, 1987, 1989, 1991, 1992, 1996, 1998, 2001, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014; evidenciándose en espacios de un mes para cada uno de los años, a excepción de los años 1973, 1997, 1996, 2008, 2011 y 2014 donde la ocurrencia de estos eventos fueron al menos de dos o más meses. Con respecto a los eventos de sequía severa, se presentó en 4,9% durante los años 1973, 1977, 1990, 2000 y 2014 con mayor ocurrencia. Con respecto a la ocurrencia de sequías extremas para la secuencia trimestral, se observa una diferencia de 1,5% con respecto a la mensualizada, detectándose con mayor incidencia en los años 1973, 1977, 1996, 1997, 2011, 2013 y 2014; mientras que los eventos de sequía severa tuvieron un incremento del 0,9%, con mayor énfasis en los años 1973, 1977, 1986, 1990 y 2004. De modo que, los eventos húmedos estuvieron presentes tanto para la secuencia mensualizada y trimestral, en un 51% y 48,6% respectivamente.

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 región tropical de sabana (Awi) del estado Barinas, durante el período 1971-2016.

Designación	Duración de la sequía en meses	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	5,8	4,7
Húmedo severo	4,2	7,5
Húmedo moderado	9,6	10,0
Húmedo ligero	31,2	26,4
Sequía leve (SL)	30,3	27,5
Sequía moderada (SM)	7,6	10,2
Sequía severa (SS)	4,9	5,8
Sequía extrema (SE)	6,5	8,0

3.2 Índice estadístico Z (IEZ)

En la tabla 4 se reflejan los valores obtenidos mediante la aplicación del IEZ, dónde se observa que éste índice no detectó eventos de sequías extremas ni moderadas en ambas secuencias analizadas; más, sin embargo, arrojó un 16,7 % de ocurrencia de eventos de sequías moderadas para la secuencia mensualizada, con mayor incidencia en los años 1972, 1989, 1993, 1994, 1998, 1999, 2002, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2014 y 2016. 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 22 % con mayor intensidad en los años 1973, 1983, 1996 y 2000.

3.3 Índice Z China (IZC)

En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos mediante la aplicación del IZC, el cual no detectó eventos de sequías extremas ni severas para ambas secuencias analizadas. No obstante, reflejó eventos de sequías moderadas de 19,6 % para la secuencia mensualizada, con énfasis en los años 1972, 2000 y 2012; mientras que para la secuencia trimestral se obtuvo una ocurrencia del 22,4 %, siendo los años 1973, 1983, 1996 y 2000 con mayor cantidad de episodios.

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 región tropical de sabana (Awi) del estado Barinas, durante el período 1971-2016.

Designación	Duración de la sequía en meses	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	4,3	3,3
Húmedo severo	4,5	5,6
Húmedo moderado	6,9	9,6
Húmedo ligero	27,9	27,6
Sequía leve (SL)	39,7	31,8
Sequía moderada (SM)	16,7	22,0
Sequía severa (SS)	0,0	0,0
Sequía extrema (SE)	0,0	0,0

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 región tropical de sabana (Awi) del estado Barinas, durante el período 1971-2016.

Designación	Duración de la sequía en meses	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	2,7	1,5
Húmedo severo	4,3	7,1
Húmedo moderado	9,4	10,7
Húmedo ligero	32,8	29,5
Sequía leve (SL)	31,2	28,9
Sequía moderada (SM)	19,6	22,4
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 29,2 %, viéndose este comportamiento para los años 1972, 1982, 1987, 1988, 2011, 2012 y 2013; cuando se analiza a una secuencia mensual. En cambio, para la secuencia trimestral se observa una ocurrencia de sequía extrema de 21,3 % durante los años 1973, 1983, 1996 y 2013 principalmente.

Tabla 6: Porcentaje de ocurrencia de los tipos de sequías obtenidos con el porcentaje de precipitación normal (PPN) para 1 y 3 meses de sequías en la región tropical de sabana (Awi) del estado Barinas, durante el período 1971-2016.

Designación	Duración de la sequía en meses	
	1 % de ocurrencia	3 % de ocurrencia
Húmedo extremo	19,2	18,2
Húmedo severo	8,7	8,9
Húmedo moderado	6,7	11,1
Húmedo ligero	9,1	8,0
Sequía leve (SL)	8,9	9,8
Sequía moderada (SM)	8,0	9,8
Sequía severa (SS)	10,3	12,9
Sequía extrema (SE)	29,2	21,3

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 severa y extrema, en comparación con el ISP. 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. 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 obtenidos con el PPN reflejaron ser 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). En base a los resultados obtenidos, se evidencia que el ISP representa un índice bastante robusto para los estudios de sequía, frecuentemente recomendado por organizaciones internacionales y además reproduce los patrones de sequía espacialmente de una forma bastante apropiada (Quesada et al., 2019).

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 región tropical de sabana (Awi) del estado Barinas, durante 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 (%)	30,3	27,5	39,7	31,8	31,2	28,9	8,9	9,8
SM (%)	7,6	10,2	16,7	22,0	19,6	22,4	8,0	9,8
SS (%)	4,9	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	12,9
SE (%)	6,5	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2	21,3

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 una región tropical de sabana. Acorde con los resultados obtenidos, se aprecia que el índice ISP mostró ser más sensible a los cambios de precipitación en comparación con los índices IEZ, IZC y PPN, los cuales reflejaron valores heterogéneos entre sí, sobre todo en el reconocimiento de eventos de sequías severas y extremas. Por lo tanto, el ISP resultó 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

Adnan S, Ullah K, Shuanglin Li, Gao S, Khan A, Mahmood R (2017): Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan, *Climate Dynamics*. 51:1885-1899. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3987-0>

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.

Bayissa Y, Tadesse T, Svoboda M, Wardlow B, Poulsen C, Swigart J, Van Alden S (2018): Developing a satellite-based combined drought indicator to monitor agricultural drought: a case study for Ethiopia. *GIScience & Remote Sensing*. DOI:<https://doi.org/10.1080/15481603.2018.1552508>

Bonsal B, Wheaton E, Chipanshi A, Lin C, Sauchyn D, Wen L (2011): Drought Research in Canada: A Review. *Atmosphere-Ocean*, 49(4):303-319.

Dogan S, Berkay 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.

Quesada L, Hidalgo H, Alfaro E (2020): Asociación entre algunos índices de sequía e impactos socio-productivos en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista De Ciencias Ambientales*, 54(1):16-32. DOI:<https://doi.org/10.15359/rca.54-1.2>

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 A, Singh V (2010): A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391:202-216. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

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.

Olivares B, Cortez A, Lobo D, Parra R, Rey J, Rodríguez M (2016): 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.

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.

Ovalles F, Cortez A, Rodríguez M, Rey J, Cabrera E (2008): Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(1):37-40.

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.

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 Climatología de España*, 8:15-27

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

Quesada L, Calvo O, Hidalgo H, Pérez P, Alfaro E (2019): Dynamical delimitation of the Central America Dry Corridor (CADC) using drought indices and aridity values, Progress in Physical Geography. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133319860224>

Quesada L, Hidalgo H, Alfaro E (2020): Asociación entre algunos índices de sequía e impactos socio-productivos en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 54(1):16-32, DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.2>

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

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.