

ADAPTACIÓN METODOLÓGICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA. ESTUDIO DE CASO: SECTORES ALTO Y MEDIO DE LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ VENEZUELA

MARÍA G. GONZÁLEZ¹, NAGHEL Y MENDOZA²

1- Msc. Eng. Agrónomo, doutorando do Programa de Pós-Graduacion em Engenharia Agrícola (PPGEA), Universidad Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria-RS, Telefono: (55) 3220 8399, marygaby956@gmail.com

2- Eng. Agrónomo, Mcs, profesora del Depto. de Engenharia Agrícola, UCV, Maracay-Venezuela. naghely.mendoza@gmail.com

**Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES**

Resumen: Una disminución en la oferta de agua superficial y subsuperficial, caudal, niveles de lagos y embalses, agua subterránea es lo que muchos autores denominan sequía hidrológica. La dificultad de la evaluación de este tipo de sequías, consiste en establecer un valor que indique cuando dicha disminución, puede ser considerada realmente un evento de sequía. Es necesario, por tanto, para evaluar la sequía hidrológica, adoptar una definición operacional de la misma, que permita establecer un umbral para identificar en la serie los periodos de anomalías en la oferta. En este trabajo, se adaptó la metodología del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), el cual se utiliza para el análisis de la sequía meteorológica, para la evaluación de la sequía hidrológica, utilizando 27 años de registros de caudales medios de las estaciones: Caroní en Arekuna, Caroní en Aripichí, Caroní en Canaima, y Caroní en Capaura, ubicadas dentro de la cuenca del Río Caroní al sur de Venezuela. Esta evaluación demostró que la aplicación del Índice de Caudal Estandarizado (ICE), para la evaluación de las sequías hidrológicas, es una herramienta útil para desarrollar una definición operacional de la misma, siendo específica para cada zona, logrando con ello establecer un umbral de caudal asociado a sequías, propio para cada serie de datos.

Palabras claves: Sequía meteorológicas, sequía hidrológica, SPI, ICE

Adaptation methodological for the characterization of drought hydrology. Case Studies: High and a half sector of the Caroní River Watershed

Abstract: A decrease in the supply of surface and subsurface flow, lake and reservoir levels, groundwater is what many authors call hydrological drought. The difficulty of assessing this type of drought is to set a value indicating when the reduction may be considered really a drought event. It is therefore necessary to evaluate the hydrological drought adopt an operational definition of it, to enable a threshold for identifying the time series of anomalies in the tender. In this work we adapted the methodology of the Standardized Precipitation Index, which is used for the analysis of meteorological drought, for hydrological drought assessment using 27 years of flow records are media stations: Caroni In Arekuna, Caroni In Aripichí, Caroni in Canaima, and Caroni In Capaura, located in the Caroni River basin in southern Venezuela. . Evaluation showed that the implementation of the Standarized Flow Index (ICE), the assessment of hydrological drought is a useful tool to develop an operational definition of it, being specific to each area, thereby achieving a threshold of flow associated with drought, typical for each data series.

KEYWORDS: meteorological drought, hydrological drought, SPI, ICE

INTRODUCCIÓN: La sequía es un fenómeno hidrológico extremo, generalmente impredecible, que supone una disminución coyuntural significativa de los recursos hídricos durante un período temporal suficientemente prolongado, que afecta a un área extensa, pudiendo llegar a impedir el cubrir las demandas de agua para diversos usos (consumo humano, agrícolas, producción de energía hidroeléctricas entre otras), hasta un cien por ciento, provocando consecuencias económicas adversas. Mckee et al, (1993) desarrollaron el índice de precipitación estandarizado, por sus siglas en inglés "Standardized Precipitation Index" (SPI). Normalmente es calculado para diferentes escalas de tiempo, que varían desde 1, 3, 6, 12, 24 ó 48 meses y en diversas zonas. Esta flexibilidad temporal permite que el SPI sea muy útil en períodos de corto plazo (para aplicaciones en agricultura) y también en períodos de largo plazo (para aplicaciones hidrológicas). En la presente investigación se adaptó esta metodología, para evaluar la sequía hidrológica, determinándose el índice "Índice de Caudal Estandarizado o ICE", dado que, el SPI utiliza la variable precipitación sin tomar en consideración otras variables meteorológicas que tienen influencia sobre la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS: La información utilizada, corresponde a gastos (caudales) medios mensuales de cuatro (4) estaciones hidrométricas, suministradas por la Gerencia de Gestión Ambiental de C.V.G. Electrificación del Caroní (EDELCA) –ubicada en Venezuela. Los registros históricos utilizados tienen longitudes variables, sin embargo, a los efectos de poder efectuar un análisis regional, se consideró un período en común para todas las estaciones correspondiente, desde 1980 hasta 2006, para 27 años de registros. (Ver Tabla 1)

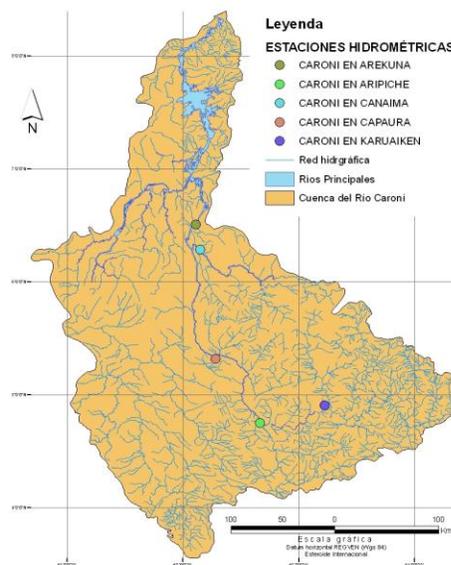


Figura 1. Ubicación de las Estaciones Hidrométricas seleccionadas para el estudio

Tabla 1 Estaciones Hidrometeorológicas. Gasto diario ($m^3 \text{ seg}^{-1}$)

LONG (°)	LAT (°)	Altura	Nombre	Período
-62.5322	6.3024	333	Caroní en Arekuna	1965 / 2006
-62.2000	4.4500	381	Caroní en Aripiche	1979 / 2006
-62.5100	6.1700	398	Caroní en Canaima	1980 / 2006
62.4300	5.1900	359	Caroní en Capaura	1979 / 2006

Fuente: Gerencia de Gestión Ambiental EDELCA.

El Índice de caudal Estandarizado (ICE), se determino siguiendo la metodología descrita para el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés) desarrollado por McKee et al (1993). La metodología para el cálculo del ICE se fundamenta en el ajuste de una serie de registros históricos de caudal medio mensual a la función de distribución probabilística de tipo "Gamma" y en la transformación de los datos resultantes a la función normal estandarizada con media 0 y varianza 1. En otras palabras, el ICE representa el número de desviaciones estándar, que cada registro de caudal se desvía del promedio histórico. Bajo este contexto, puede deducirse, que registros de caudal superiores al promedio histórico del mes correspondiente, darán valores del ICE positivos, por el contrario, registros de caudal inferiores al promedio histórico del mes correspondiente, arrojarán valores del ICE negativos, lo cual indica una intensidad en el déficit de agua. Para el cálculo del ICE, se utilizo las hojas de cálculo en Microsoft® Office EXCEL 2003 elaboradas por Mendoza en el 2005. Los datos de caudal se dispusieron en forma de series de tiempo para las cuatro estaciones. Además de la información de caudal, en esta hoja se encuentran el cálculo de: la media, la sumatoria de los logaritmos neperianos, A, el parámetro de escala (α) y el parámetro de forma (β). En la segunda hoja se calculó el logaritmo neperiano de los datos de caudal. $G(x)$ se calculó con la función "Distribución Gamma" de Microsoft® Office EXCEL 2003. En la tercera hoja se encuentra el cálculo del ICE, el cual se obtuvo aplicando a cada uno de los datos de la hoja anterior, la función de Microsoft® Office EXCEL 2003 "Distribución Estandarizada Inversa".

Los resultados obtenidos del cálculo del ICE, se presentaron de forma gráfica, donde se analiza la variabilidad temporal del índice para las cuencas, en el período estudiado, se utilizó la definición de Mckee et al (1997) la cual establece, que un evento de sequía para cualquier escala de tiempo es definido como: un período en el cual, el índice es continuamente negativo y alcanza un valor de -1 o menor, es decir, el evento comienza cuando el ICE cae por debajo de cero y alcanza al menos una vez el valor de -1 o menor, terminando, cuando el índice toma valor positivo; de igual manera, se analizan las anomalías mensuales con el indicador de frecuencias de casos de sequías (IFS), basándose en la clasificación de Mckee et al. (1995), presentada en el Cuadro 1.

$$IFS = \left(\sum \frac{na}{N} \right) \times 100 \quad 1$$

Donde: na es el número de meses donde ocurre la anomalía y N número total de meses de la serie de tiempo estudiada

Cuadro 1. Codificación de las clases sequía

Código	Rango	Clasificación
1	-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
2	-1.5 a -1.99	Severamente seco
3	< -2	Extremadamente seco

Fuente: McKee et al. 1995

RESULTADOS: Se aplico la metodología para la determinación del Índice de Caudal Estandarizado "ICE" a partir de la adaptación y modificación del método descrito para la caracterización de la sequía meteorológica (SPI). En la figura 2, se observa el comportamiento del ICE, a una escala de tiempo mensual, calculado a partir de la serie temporal de caudal de las estaciones Caroní en Arekuna, Caroní en Aripichí, Caroní en Canaima, y Caroní en Capaura; para el período 1980-2006. En el mismo, se observan los meses donde hubo una disminución de los caudales, representado por valores de ICE inferiores a la normal (0), con base y similar al nivel de truncado propuesto por McKee (1997). Al analizar la serie calculada de ICE, se pudo

notar que las cuencas han experimentado un patrón similar, los eventos registrados en las estaciones no presentan diferencias en términos de magnitud y duración, a excepción de un evento (finales 1983), donde las 4 estaciones presentaron similitud en las magnitudes registradas pero diferencias en la duración, donde la cuenca Aripichí fue la que presentó la mayor magnitud (4,494) y la mayor duración (7 meses), con respecto al mismo evento ocurrido en las otras estaciones, de las cuencas estudiadas, en la estación Capaura, se presentó la menor magnitud (3,014) con una duración de 2 meses, este evento a pesar de no tener coincidencia en la fecha de inicio si presentó coincidencia en la fecha de culminación en las 4 estaciones estudiadas. Otro evento que cabe destacar, es el ocurrido a finales de 1987, en las estaciones Capaura, Canaima y Arekuna, mostrando magnitudes similares (7,766; 8,064 y 8,204 respectivamente) y la misma duración (6 meses), coincidiendo en la fecha de inicio y la fecha de culminación, aunque en la estación Aripichí, presentó una magnitud de 3,677 y una duración de cuatro meses, coincidiendo solo en la fecha de inicio con respecto a las otras estaciones. A finales del 2002 ocurrió el evento de mayor magnitud para todas las estaciones estudiadas dentro de la serie de tiempo, teniendo una magnitud de 9,132 en la estación Capaura, 9,988 en la estación Canaima, 8,189 en la estación Aripichí y 9,036 en la estación Arekuna, tuvo una duración de 5 meses, con coincidencia en la fecha de inicio y culminación.

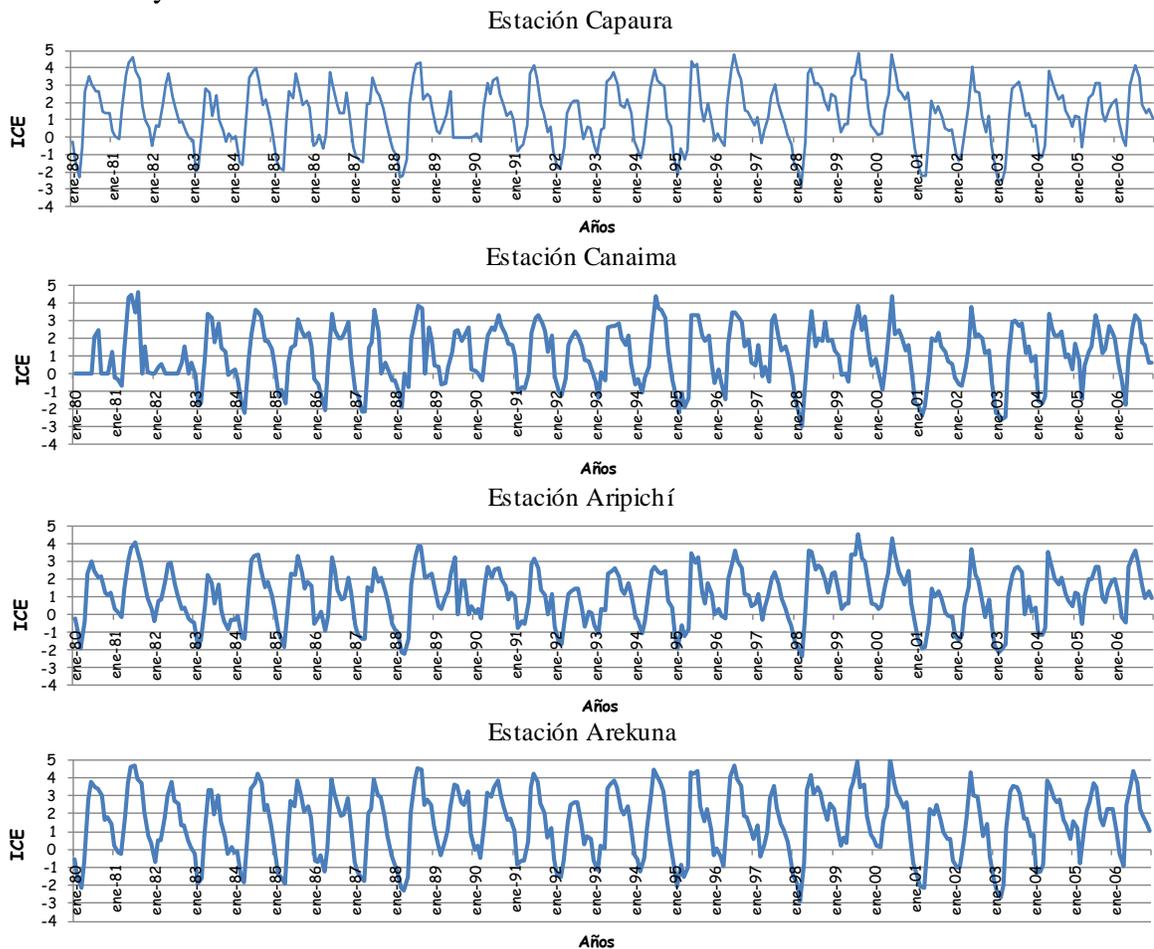


Figura 2. Variabilidad temporal del ICE. Período 1980-2006

En el cuadro 2, se observan los casos de sequías hidrológicas que se presentan en las cuencas, por clase de sequía siguiendo la clasificación establecida por Mckee, (1995). En este, se observa que la frecuencia de ocurrencias de casos de sequias, en sus distintas clases, es baja, además, la clase que presenta el mayor numero de meses con sequias es la clase 1 (moderadamente seco, valores

desde -1 a -1,49), donde la estación Aripichí es la que tiene el mayor porcentaje del índice de frecuencias de casos de sequías, interpretándose que 5,864% de los meses estudiados, presentan sequías en esta clases y a su vez esta estación es la que mostro una disminución significativa de los casos de sequías en la clase 3 (extremadamente seco, valores ≤ -2) presentando solo 1,234 % de los meses estudiados, con casos en dicha clase.

Cuadro 2. Índice de frecuencias de anomalías por clases de sequías

Clases de sequías	Estación Capaura		Estación Canaima		Estación Aripichí		Estación Arekuna	
	Número de caso	IFS	Número de caso	IFS	Número de caso	IFS	Número de caso	IFS
1	15	4,629	15	4,629	19	5,864	11	3,395
2	12	3,703	13	4,012	13	4,012	15	4,629
3	9	2,777	11	3,395	4	1,234	10	3,086

CONCLUSIÓN: La adaptación de la metodología empleada para la caracterización (duración y magnitud) de los eventos de sequía hidrológica de los sectores altos y medio del río Caroní, utilizando los registros mensuales de caudal medio, permitió evaluar y estudiar con rigurosidad de método y procedimiento similar al SPI, pero ajustado a la determinación, de manera sencilla, del Índice de Caudal Estandarizado (ICE), al utilizar solo los registros de caudal medio mensual. La evaluación de la sequía hidrológica a través del ICE demostró que los valores de caudal medio mensual de las series estudiadas, presentaron un buen ajuste a la función de probabilidad GAMMA y a la metodología propuesta por McKee, et al., (1997). Pudiéndose determinar períodos secos y períodos húmedos bien delimitados por el índice, lo que facilita el estudio de las sequías. En los resultados, se observó una relación entre la magnitud y la duración de los eventos, en las estaciones de las dos cuencas estudiadas, presentando coincidencia en la duración correspondían en la duración y magnitud, es decir que el evento de mayor duración fue el evento de mayor magnitud y el evento de menor duración fue el de menor magnitud.

La categorización en moderada, severa y extrema de la sequía hidrológica junto con IFS permite determinar diferentes niveles de riesgo, pudiendo ser, además, una herramienta útil en el establecimiento de políticas de mitigación y respuesta ante la probabilidad de ocurrencia de un evento de sequía hidrológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Edwards, D.C.; T.B. McKee. 1997. **Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales**. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- McKee, T.B.; N.J. Doesken; J. Kleist. 1993. **The relation of drought frequency and duration to time scales**. Proceeding of the Eighth Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, CA. American Meteorological Society. p. 179-184.
- McKee, T.B.; N.J. Doesken; J. Kleist. 1995. **Drought monitoring with multiple time scales**. Proceeding of the Ninth Conference on Applied Climatology, January 15-20, Dallas, TX. American Meteorological Society. p. 233-236.
- MENDOZA, N., (2005): **Caracterización de la sequía en Venezuela**. Trabajo de asenso Universidad central de Venezuela FAGRO. 197 pp.