



EVALUACIÓN DE AMENAZA POR SEQUÍA EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA*

Álvaro José Zabaleta Ortega**

Eglendis Nobles Orozco***

Teobaldis Mercado Fernández****

Ángel Díaz Carvajal*****

Recibido: 23/01/2020 • Aceptado: 23/02/2021

<https://doi.org/10.22395/rium.v21n40a6>

Resumen

La escasez hídrica en zonas con precipitaciones abundantes a causa de sequías resulta ser, en cierto sentido, contradictorio; sin embargo, los efectos de dicha situación pueden llegar a tener consecuencias dramáticas en la productividad y desarrollo de las comunidades. Este trabajo evaluó la amenaza por sequía en el departamento de Córdoba, Colombia, mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), para un escenario crítico definido por las intensidades máximas de eventos con ocurrencia de dos años de retorno, utilizando la información de 40 estaciones meteorológicas; evaluando el SPI a escalas de 3 y 6 meses y caracterizando dicho índice en términos de intensidad, duración, frecuencia y magnitud. Los resultados muestran la ocurrencia de sequías de intensidad moderada, con frecuencia de 58 % y 56 % a escala trimestral y semestral respectivamente, resultando en amenaza por sequía en categorías media y alta para algunas zonas del departamento; lo cual indica que, si bien sobre la zona de estudio se registran abundantes precipitaciones, se puede presentar escasez del recurso en el largo plazo provocado por sequías.

Palabras clave: sequía; precipitación; Índice estandarizado de precipitación; Gumbel; eventos extremos; intensidad; duración; frecuencia.

* Artículo resultado de investigación realizada y financiada por los autores.

** Ingeniero Ambiental. Grupo de Hidrociencias. Universidad de Córdoba. Colombia. Candidato a PhD en Tecnología Avanzada. Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas UPIITA, IPN, México. Correo electrónico: azabaleta1900@alumno.ipn.mx. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2578-7810>

*** Ingeniera Ambiental. Grupo de Hidrociencias. Universidad de Córdoba. Colombia. Correo electrónico: enobles@correo.unicordoba.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1703-7953>

**** PhD en Hidrociencias. Profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, Colombia. Grupo de Hidrociencias. Correo electrónico: tmercado@correo.unicordoba.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3948-8010>

***** Ingeniero Ambiental. Grupo de Hidrociencias. Universidad de Córdoba. Colombia. Correo electrónico: adiazcarvajal21@correo.unicordoba.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3417-3076>

Drought threat assessment in the department of Cordoba, Colombia

ABSTRACT

Water scarcity in areas with abundant rainfall due to drought is, in a sense, contradictory; however, the effects of such a situation can have dramatic consequences on the productivity and development of communities. This work, derived from a finished research and financed with resources of the authors, evaluated the threat by drought in the department of Cordoba, Colombia, by means of the Standardized Index of Precipitation (SPI), for a critical scenario defined by the maximum intensities of events with occurrence of two years of return, using the information of 40 meteorological stations; evaluating the SPI to scales of 3 and 6 months and characterizing this index in terms of intensity, duration, frequency and magnitude. The results show the occurrence of droughts of moderate intensity, with frequency of 58 % and 56 % in quarterly and semestral scale respectively, resulting in threat by drought in medium and high categories for some areas of the department; which indicates that, although on the study area there are registered abundant rainfalls, it can be presented scarcity of the resource in the long term caused by droughts.

Keywords: drought; precipitation; standardized precipitation index; Gumbel; extreme events; intensity; duration; frequency.

INTRODUCCIÓN

La sequía puede entenderse como la reducción parcial o total de las precipitaciones en un lugar y tiempo determinados; esta hace parte de la variabilidad natural del clima y se percibe como una anomalía del ciclo hidrológico cuyas características dependen del régimen climático zonal, siendo en consecuencia uno de los fenómenos hidrometeorológicos más complejos [1–6]. La ocurrencia de la sequía se relaciona con elementos tanto naturales como antropogénicos; el primer grupo corresponde a alteraciones en los patrones de circulación atmosférica, modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la tierra, cambios en la temperatura superficial de los océanos, entre otros; en tanto que las causas antropogénicas se refieren, entre otras, a la deforestación y cambios de uso del suelo, provocando variaciones en la distribución espacio temporal de las lluvias y con ello sequías [7–10].

Las características intrínsecas de la sequía como su lenta aparición y evolución, duración, daños no estructurales con gran cobertura espacial, entre otros, la convierten en un fenómeno con alto potencial de peligrosidad, responsable de pérdidas humanas y receso en la productividad, afectando el desarrollo de regiones; así mismo, al depender de características climáticas locales, disponibilidad de información, entre otras, particulares de cada lugar, la gestión para la disminución de sus efectos adversos resulta ser un reto [11–16].

Al respecto, existe una variedad de índices para caracterizar la sequía, atendiendo a la disponibilidad de información y las características climáticas particulares, que constituyen la principal herramienta de análisis [2, 16, 27]; destacando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por su sigla en inglés) como una metodología óptima en dicha tarea [17–21].

En los últimos años se ha notado un aumento de la frecuencia y severidad de eventos extremos como la sequía a nivel mundial atribuidos posiblemente a efectos del cambio climático [22]. Así, por ejemplo, El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) [23] reporta un incremento la intensidad y duración de dicho fenómeno en diferentes regiones del mundo. En casos particulares Sivakumar *et al.* [24], han reportado sequías severas registradas en 27 países de África subsahariana entre 2003 y 2013, intensas olas de calor y sequía registradas en toda Europa durante el 2003 así como en el sudeste australiano y Argentina entre 2008 y 2009; que repercuten en la presión sobre el recurso hídrico y, en consecuencia, conflictos de uso [25, 26].

Si bien en los últimos años el fenómeno de sequía ha tenido relevancia en términos investigativos enfocado a su análisis y gestión debido a los efectos adversos que tiene su ocurrencia, el estudio en zonas con alta pluviosidad ha estado desapercibido, sin

embargo, la aparición paulatina del fenómeno puede tener consecuencias drásticas a nivel climático, ambiental y de gestión de recursos de las regiones con alta disponibilidad pluviométrica estacional, dado que en los periodos de ausencia de precipitaciones genera mayor déficit de agua en el suelo y reservorios, resultando indispensable analizar el panorama de la sequía en dichas zonas. En tal sentido, este trabajo evalúa la amenaza por sequía en el departamento de Córdoba mediante el uso del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para la caracterización local del fenómeno, a fin de analizar la ocurrencia de sequía en el departamento. Este documento se organiza en adelante como sigue: la sección 2 contiene la descripción general de los datos y la metodología; la sección 3 contiene los resultados y una disertación de los hallazgos obtenidos en este trabajo; la sección 4 contiene las conclusiones generales resultantes y finalmente las referencias de las obras citadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El departamento de Córdoba está situado al Noroeste de la República de Colombia, entre los 7° 22' y 9° 26' de latitud Norte y los 74° 47' y 76° 30' de longitud Oeste (ver figura 1). Posee una extensión de 25.058 km²; presenta una precipitación media anual de 1262 mm, temperatura media de 27,8 °C y humedad entre el 76 % y 82 %, hace parte de la denominada zona de convergencia intertropical y se caracteriza por abundantes precipitaciones distribuidas entre los meses de abril a noviembre [27, 28].

2.2. Fuentes de información y descripción general de los datos

Se seleccionaron las estaciones que se muestran en la tabla 1 de la red hidrometeorológica a partir de la disponibilidad de un total de 40 estaciones adscritas al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), las series de registros históricos fueron solicitadas a través de la página web del Ideam (<http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>) para las estaciones seleccionadas. Se obtuvieron los registros de precipitación y temperatura con resolución temporal diaria y mensual durante el período 1970 y 2012, contando con una longitud de 40 años de registro.

Tabla 1. Estaciones climáticas

Código	Nombre	Latitud (N)	Longitud (W)
13050020	Sta Cruz Hda	8°40'03"	76°07'26"
13070090	San Carlos	8°47'26"	75°42'05"
25020480	Los Pajaros	8°20'26"	74°52'04"
13085030	San Bernardo	9°22'15"	75°56'58"
25020140	Sahagún	8°57'03"	75°27'07"
25020700	La Apartada	8°03'11"	75°20'19"

Código	Nombre	Latitud (N)	Longitud (W)
13050010	Santa Lucía	8°50'55"	76°02'43"
13070180	Carrillo	8°59'04"	75°49'54"
13070120	Callemar	8°41'51"	75°40'40"
13070380	Cereté	8°53'06"	75°47'51"

Fuente: elaboración propia.

2.3. Cálculo del índice estandarizado de precipitación (SPI)

La finalidad de trabajar con escalas de tiempo convenientes al método elegido y a los factores físicos característicos del área de estudio conllevaron a la realización de un análisis de los datos mensuales de precipitación, estudiando las medias móviles históricas, de modo que se identificaran la distribución y concentración de las lluvias y los periodos secos. Las series de datos de precipitación mensual fueron ordenados en las escalas de tiempo seleccionadas (3 y 6 meses) por estación. Así, por ejemplo, el valor trimestral del mes de abril de 2010 corresponde a la suma de las precipitaciones de los meses de febrero, marzo y abril de ese año, hasta completar doce valores anuales. De la misma forma, se procedió a calcular las otras escalas temporales. Una vez obtenida la base de datos en las escalas de tiempo escogidas, se calcularon los valores del SPI a través del SPI-6, un software desarrollado por el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de Estados Unidos (NDMC por su sigla en inglés).

2.4. Caracterización espacio temporal de la sequía

Los parámetros analizados corresponden a la intensidad, frecuencia, duración y magnitud de los eventos de lluvia mínimos. Para la identificación, se consideró indicio de sequía, de acuerdo con lo sugerido por Loaiza [16], Olivares [29] y Zuluaga [6], entre otros, y se definió una magnitud de -1 como el umbral del valor de SPI.

La categorización de las intensidades de los valores arrojados por el SPI, vienen dadas por el sistema de clasificación definido por McKee *et al.* [30], mostrado en la tabla 2. Una vez clasificados estos valores, se procedió a tomar el valor crítico para cada año, se promedió y se representó espacialmente con ayuda del software ArcGIS.

Tabla 2. Clasificación del SPI.

SPI	Categoría
>2	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
<-2	Extremadamente seco

Fuente: [29].

Para la frecuencia de ocurrencia, se estimó la frecuencia absoluta con que cualquier clase de intensidad de sequía se presentaba por año en la estación en cuestión. Respecto a la duración, se registró el número de meses consecutivos (mayor o igual a 3) en que el SPI superaba el umbral crítico, descartando aquellos meses aislados que cumplieron con este criterio. En el caso de la magnitud, ésta se calculó a partir de los valores de SPI con duración mayor o igual a tres meses, usando la siguiente expresión:

$$MS = \sum_{i=1}^{n=12} SPI_i \quad (1)$$

Donde MS es la magnitud de la sequía y SPI es el índice individual de cada mes.

2.5. Evaluación de la amenaza por sequía

Para evaluar la amenaza por sequía en el área de estudio, se estimaron las intensidades de sequía asociadas a diferentes períodos de retorno, usando la función de distribución Gumbel o extrema Tipo I, a partir de los valores críticos escogidos de las 40 estaciones de estudio por año; entiéndase como críticos las intensidades máximas de períodos secos, es decir, los valores de SPI más alejados del cero. La evaluación de la sequía como una amenaza se realizó tomando como referencia la metodología propuesta por INETER y COSUDE [31], cuyo propósito fue elaborar una metodología para evaluar la amenaza por sequía meteorológica a partir de dos criterios (resumidos en la tabla 2): la intensidad, obtenida mediante el Índice de Desviación de la Precipitación (IDP), y la probabilidad de ocurrencia de los eventos identificados, determinada por la expresión $p = \frac{m}{n+1}$, cuya modificación en este trabajo consiste en determinar las intensidades mediante el SPI y estimar los periodos de retorno mediante método de Gumbel. Finalmente, se realizaron mapas de las intensidades estimadas para períodos de retorno de 2 y 100 años, usando el método de interpolación espacial Kriging e implementando la herramienta de Geostatistical Analyst del software ArcGIS 10.3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción climática general

El departamento de Córdoba presenta un clima cálido tropical ubicado dentro de las zonas de vida de Holdridge como bosque seco tropical y bosque húmedo tropical, la precipitación media oscila entre los 1.200 mm año⁻¹ hacia la zona de costa al Norte del departamento y los 4.500 mm año⁻¹ hacia el Sur en el Nudo del Paramillo, la temperatura promedio oscila entre los 26°C y 28°C [26, 32]; existen diferencias en la duración de la época seca con respecto a la ubicación, pasando de 3 meses al

sur a 6 meses al norte. cuyas características climáticas dirigieron a la selección de las escalas temporales utilizadas (trimestral y semestral) en el cálculo del SPI.

3.2. Caracterización espacio temporal de la sequía

Al analizar las intensidades de los eventos secos a partir de los promedios mensuales del SPI, se refleja una tendencia positiva generalizada en las estaciones de estudio posiblemente como consecuencia de la tendencia al aumento de precipitación, con excepción de la estación Boca de la Ceiba, cuya pendiente negativa indica una reducción de las lluvias durante los últimos años de registro, sin embargo, los resultados sugieren una tendencia a la prolongación de los periodos secos y concentración de eventos de lluvias en periodos de altas precipitaciones, pudiéndose presentar escasez física del recurso y una tendencia de sequía de forma paulatina. La figura 1 muestra el comportamiento descrito anteriormente para las estaciones San Antonio y Boca de la Ceiba de manera ilustrativa a lo descrito anteriormente.

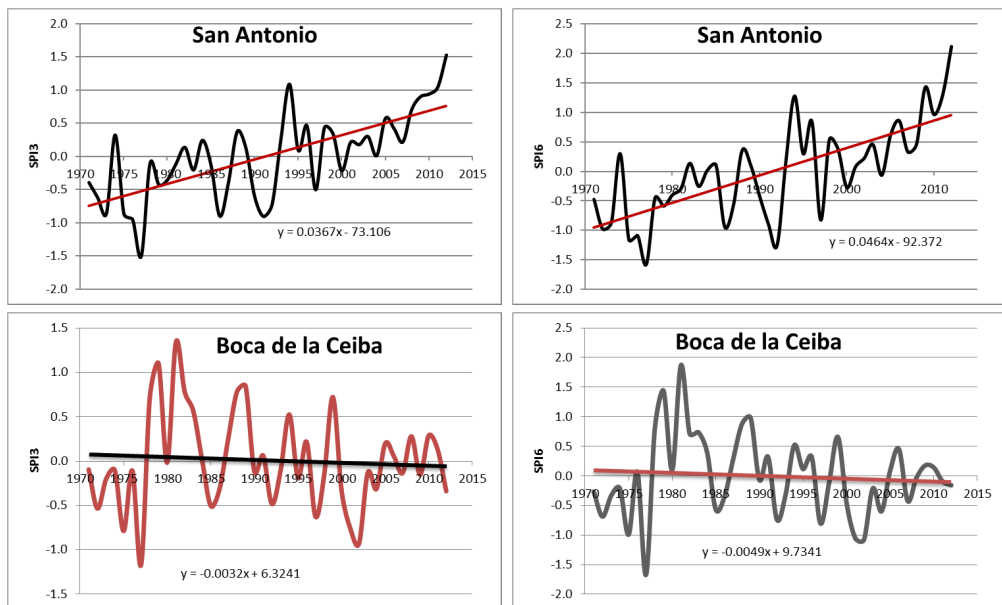


Figura 1. Tendencias de variación del SPI para las estaciones San Antonio y Boca de la Ceiba

Fuente: elaboración propia.

En términos de distribución espacial, la figura 2 ilustra el SPI3, el cual muestra variaciones en una proporción aproximada del 95 % del territorio bajo la categoría de sequía moderada, mientras que el restante presenta sequía catalogada como ligera.

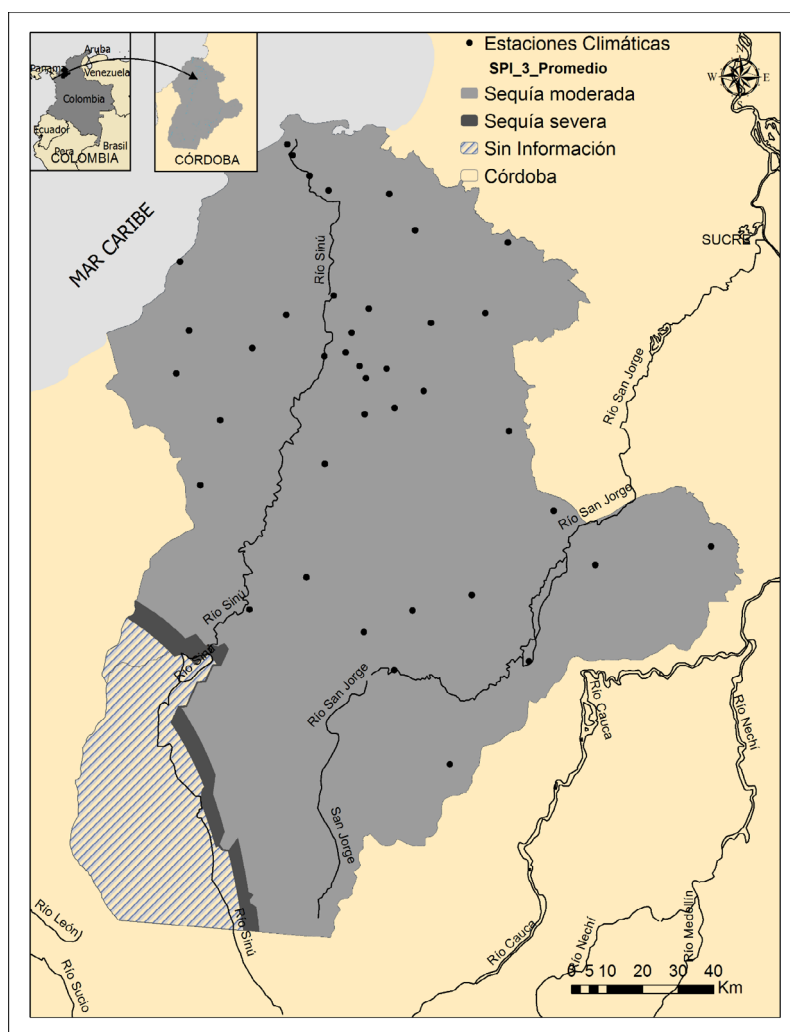


Figura 2. Distribución espacial del SPI 3

Fuente: elaboración propia.

La frecuencia de dichas intensidades muestra que la sequía más representativa es la moderada, tanto a escala trimestral como semestral, representando un 57,7 % y 55,8 % respectivamente con base en el total de sucesos de sequía identificados por el SPI3 y SPI6 para el período de análisis. Del mismo modo, a escala semestral se obtuvo que el subperíodo 1970-1985 fue el más seco del registro histórico, mientras que, a escala de 3 meses, no es posible indicar qué subperíodo concentró mayor número de períodos secos. Las sequías en el departamento de Córdoba tienen una duración promedio entre 4 y 5 meses, según sea la escala trimestral o semestral. La tabla 3 resume las 10 duraciones más importantes encontradas.

Tabla 3. Duraciones máximas del SPI a escalas trimestrales y semestrales

Máxima Duración							
SPI3				SPI6			
Estación	Meses	Magnitud	Año	Estación	Meses	Magnitud	Año
Sta Cruz Hda	10	14,9	Nov/76 ¹	Uré	12	19,91	Ene/92
San Carlos	10	18,4	Abr/02	S. Cruz H.	12	20,01	Feb/77
Ayapel	9	13,61	Abr/01	Turipaná	12	22,82	Dic/76 ²
S. Bernardo	9	12,45	Feb/86	Sahagún	12	23,19	1977 ³
Sahagún	9	12,91	Abr/77	La Apartada	11	21,73	97-98 ⁴
La Apartada	8	13,16	May/86	Sta Lucía	11	18,81	Ene/97 ⁵
Sta Lucía	8	15,76	Feb/73	S. Antonio	11	18,19	1977 ⁶
Carrillo	8	13,12	May/86	Carrillo	11	18,45	97-98 ⁷
Callemar	8	15,05	May/03	Caramelo	10	18,4	Feb/73
Cereté	8	15,41	May/76	Momil	10	17,68	91-92 ⁸

¹Finalizó oct/77; ²Finalizó dic/77; ³Inició sep/75, finalizó dic/77; ⁴Inició oct/97, finalizó nov/98; ⁵finalizó mar/98; ⁶Inició jun/76, finalizó mar/78;

⁷Inició Ene/97, finalizó abr/98; ⁸Inició nov/91, finalizó oct/92.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 3, se registraron dos períodos de 10 meses consecutivos como máxima duración a escala trimestral: uno en la estación Hacienda Santa Cruz y el otro en la estación San Carlos; ocurridos en diferentes décadas sobre la época de lluvias (segundo semestre del año), implicando posiblemente trastornos significativos sobre el comportamiento de la sequía en cuanto a la distribución espaciotemporal y disponibilidad del recurso hídrico en la región. Por su parte, escala semestral, las duraciones máximas alcanzadas fueron de 12 meses consecutivos, evidenciándose en ambos casos periodos de sequía prolongados. Los resultados a ambas escalas de tiempo indican aparición progresiva de sequías de mayor duración y la magnitud, cabe resaltar que, las máximas duraciones no necesariamente están asociadas a las mayores magnitudes y viceversa, un ejemplo, es el acontecido en la estación Hacienda Santa Cruz cuya duración es la máxima a escala trimestral pero su magnitud es menor en comparación a estaciones con duraciones menores como la estación Cereté. Este tipo de relación resulta de interés, si se piensa en los impactos que pueden causar con una mayor frecuencia en cuanto a la incidencia de las sequías y la distribución de las precipitaciones en el área de estudio.

El número de sequías que podemos considerar de acuerdo con lo sugerido por IDEAM [33] y Hurtado y Cadenas [17], corresponde solo al 11 % de 2871 eventos secos identificados, ya que cumplen con los umbrales establecidos, es decir poseen una intensidad inferior o igual a -1 y una duración mayor o igual a 3 meses consecutivos.

El resto (un 89 %) son eventos aislados o poco intensos que no representan en sí un evento de sequía, sin embargo, es posible que dichos eventos puedan evolucionar a través del tiempo aumentando su magnitud, convirtiéndose posiblemente en sequía.

3.3. Evaluación de la amenaza por sequía en el departamento de Córdoba

Al estimar las intensidades asociadas a diferentes períodos de retorno, se obtuvo que los eventos mínimos están asociados a períodos de retorno (Tr) menores a 25 años, siendo $Tr = 2$ años, los de mayor intensidad. Una vez la Tr aumenta, las intensidades asociadas toman valores positivos que pueden interpretarse como eventos asociados a eventos extremos de precipitación, con probabilidad de ocurrencia aproximada del 1 y $Tr = 100$ años. Este análisis cobra mayor relevancia al considerar que el SPI es un índice normalizado con la capacidad de analizar, además de períodos secos, eventos máximos o húmedos [34]. Lo anterior implica que podrían presentarse eventos de sequía aún en condiciones de altas precipitaciones. La tabla 4 muestra las magnitudes de intensidad de sequía para los Tr analizados en este trabajo.

Tabla 4. Intensidades de sequía a diferentes períodos de retorno a escala de 3 y 6 meses.

SPI3						
Estación	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100
Boca de la Ceiba	-1,43	-0,66	-0,15	0,49	0,96	1,44
Callemar	-1,52	-0,66	-0,09	0,64	1,17	1,71
San Bernardo	-1,36	-0,70	-0,27	0,29	0,69	1,10
SPI6						
Estación	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100
Boca de la Ceiba	-1,27	-0,43	0,13	0,83	1,35	1,87
Callemar	-1,22	-0,30	0,30	1,07	1,64	2,21
San Bernardo	-1,09	-0,43	0,01	0,56	0,97	1,38

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 4 y considerando el propósito de esta investigación, se estableció como escenario crítico para evaluar la amenaza aquellas intensidades de sequía asociadas a un período de retorno de 2 años a escala trimestral, puesto que reflejan una mejor variabilidad espacio temporal de la amenaza en comparación a los valores estimados para Tr mayores a escala semestral.

De acuerdo con los resultados, se identifica que todas las zonas del departamento de Córdoba presentan algún nivel de amenaza por sequía. Así, las zonas con amenaza media ocupan el 44 % del área de análisis y su distribución espacial se extiende principalmente al Noroeste o subregión costera y al Este sobre una parte de la subregión

San Jorge, para estas zonas se esperan eventos secos con una intensidad entre -1 y -1,49. Mientras que la amenaza alta representa el 15 % de la superficie analizada, se aprecia al Oeste sobre una porción de la subregión del Medio Sinú y al Noroeste sobre la subregión del Bajo Sinú y la subregión de Sabana. En estas últimas se esperaba una alta ocurrencia de la amenaza por ser áreas con bajas precipitaciones en comparación con el resto de departamento, confirmando la hipótesis planteada en el inicio de la investigación.

Los resultados muestran que, a pesar de tener una alta precipitación en algunas zonas, el departamento de Córdoba viene presentando eventos progresivos de sequías, lo cual sugiere que la porción aprovechable del recurso puede estar sufriendo reducciones paulatinas que podrían acentuarse gradualmente, es decir, se esperarían posibles aumentos de déficit del recurso, concordando con lo reportado en Zabaleta *et al.* [35].

4. CONCLUSIONES

Las principales características de la sequía en el área de estudio son más evidentes a escalas temporales trimestral y semestral, identificándose eventos de sequía frecuentemente moderados, cuya duración promedio oscila entre los 4 y 5 meses, correspondiendo con la duración promedio de periodos secos, lo cual sugiere ser una escala temporal de análisis de la sequía apropiada, evidenciando además el carácter multiescalar de este fenómeno en el análisis ambiental, climático, social, económico, entre otros, debido a los posibles efectos de la sequía sobre diferentes sistemas.

Es infructuoso trabajar con valores promedios para el análisis espacio temporal de las sequías en la zona, ya que enmascaran el verdadero comportamiento de los eventos secos. En ese sentido, resulta fructífero analizar eventos extremos bajo un enfoque probabilístico, que conlleve a la identificación de zonas que por sus características climáticas presentan mayor propensión a la ocurrencia de amenaza por sequía.

En Córdoba, las zonas bajo amenaza alta corresponden a aquellas con registros de bajas precipitaciones durante el año. Es importante enfatizar sobre estas zonas, ya que, siguiendo lo descrito en Palencia *et al.* [36], se trata de centros poblados cuyas actividades dependientes del recurso hídrico podrían verse seriamente afectadas por el déficit al considerar el desconocimiento de ocurrencia progresiva de sequías, haciendo referencia a lo sugerido en Wilhite *et al.* [37].

Este trabajo permitió conocer el comportamiento espacio temporal de las sequías en el departamento como una amenaza natural real a pesar de su oferta, es decir, la posible ocurrencia de sequías con alta frecuencia y severidad, lo cual se evidencia en el hecho de que los eventos de mayor magnitud se presentaron en periodos de retorno

bajos. Finalmente se recomienda en futuros trabajo analizar la sequía a escalas de tiempo mayores, con el fin de hacerle seguimiento a eventos secos identificados de máxima duración.

REFERENCIAS

- [1] J. Zuluaga, “Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la sequía en Colombia,” Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2010.
- [2] M. Hoerling *et al.*, “Causes and predictability of the 2012 great plains drought,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 95, no. 2, pp. 269–282, 2014, doi: 10.1175/BAMS-D-13-00055.1.
- [3] J. Keyantash and J. Dracup, “The Quantification of Drought:an Evaluation of Drought Indices,” *Am. Meteorol. Soc.*, vol. August 200, no. 3, pp. 1167–1180, 2002.
- [4] A. Mestre and V. Moreno, “El Seguimiento de la Sequía en Eastaciones y Sobre Grandes Cuencas a Través de Uso del índice SPI,” 2004.
- [5] E. Ferre and J. Ruiz, “Las Sequías en la Provincia de Almería. Implicaciones Biogeográficas,” *Nimbus*, vol. 29, no. 30, pp. 242–257, 2012.
- [6] R. Seager *et al.*, “Causes of the 2011-14 California drought,” *J. Clim.*, vol. 28, no. 18, pp. 6997–7024, 2015, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00860.1.
- [7] M. Algara, “Propuesta Metodológica para Medir el Impacto del Fenómeno de la Sequía en la Huasteca Potosina y Propuesta General de Manejo,” Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2009.
- [8] S. Saatchi *et al.*, “Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 110, no. 2, pp. 565–570, 2013, doi: 10.1073/pnas.1204651110.
- [9] Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), “Sequías,” Ciudad de México, 2002.
- [10] J. Morales, “El efecto de la Longitud de Registro en el Cálculo del Índice de Precipitación Estándar,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.
- [11] D. Ortega-Gaucin, “Sequía en Nuevo León. Vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación,” Apodaca, N.L., 2012. <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/hidrometeorologia/sequias/22719-sequia-en-nuevo-leon-vulnerabilidad-impactos-y-estrategias-de-mitigacion>.
- [12] W. Loaiza, “Evaluación de Sequías Meteorológicas y Procesos de Adaptación de las Comunidades Agrícolas de la Cuenca del Río Dagua – Calle del Cauca. Caso de Estudio: Microcuenca la Centella,” Universidad del Valle, 2014.
- [13] G. Hurtado and M. Cadena, “Aplicación de Índices de Sequía en Colombia,” *Meteorol. Colomb.*, vol. 5, pp. 131–137, 2002.

- [14] J. Méndez, “Variabilidad Espacio-Temporal de la Sequía Meteorológica en México: Aspectos Dinámicos,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
- [15] D. Wilhite, M. Sivakumar, and R. Pulwarty, “Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy,” *Weather Clim. Extrem.*, vol. 3, no. March 2013, pp. 4–13, 2014, doi: 10.1016/j.wace.2014.01.002.
- [16] I. Velasco, L. Ochoa, and C. Gutiérrez, “Sequía, un Problema de Perspectiva y Gestión,” *Región y Soc.*, vol. 17, no. 34, pp. 35–71, 2005. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252005000300002#.X4z6508MdCQ.mendeley.
- [17] L. Vicario, “Identificación y evaluación de sequías en cuencas seleccionadas de la Región Centro de Argentina,” Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2017.
- [18] S. Morid, V. Smakhtin, and M. Moghaddasi, “Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran,” *Int. J. Climatol.*, vol. 26, no. 7, pp. 971–985, 2006, doi: 10.1002/joc.1264.
- [19] J. Rivera, “Aspectos climatológicos de las sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. Análisis regional y proyecciones futuras,” “Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. <http://digital.bl.fcen.uba.ar>,” 2014.
- [20] O. Puertas and Y. Carvajal, “Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia, utilizando el Climate Explorer,” *Rev. Científica Ing. y Desarro.*, vol. 23, no. enero-junio, pp. 104–118, 2008.
- [21] Instituto de Meteorología Hidrología y Estudios Ambientales, “Diagnóstico Situación de Riesgos Hidrometeorológicos en Colombia y Avances en la Zonificación de Riesgos,” 2011.
- [22] D. Campos, “Estimación de la severidad de sequías ambientales mediante registros de lluvia mensual,” *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 3, no. 1, pp. 123–130, 2012.
- [23] IPCC, “Cambio climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [Equipo de redacción principal Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (di,” Ginebra, Suiza, 2007.
- [24] M. Sivakumar, D. Wilhite, M. Svoboda, M. Hayes, and R. Motha, “Drought Risk and Meteorological Droughts,” 2010.
- [25] United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, “duplicateWater for People, Water for Life,” Paris, France, 2003.
- [26] M. Asadi, B. Sivakumar, and A. Sharma, “Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI),” *J. Hydrol.*, vol. 526, pp. 183–195, 2015, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.071.
- [27] I. G. A. C. IGAC, *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras, Departamento de Córdoba, escala 1:100.000*. Bogotá, 2009.

- [28] L. Gónima and M. Pérez, “Anlisis de la variabilidad climática de la temperatura del aire y de la ETP para una zona del Caribe Colombiano,” *Meteorol. Colomb.*, vol. 1, pp. 183–195, 2012.
- [29] B. Olivares, “Caracterización De La Sequía Meteorológica En La Red De Estaciones Agrometeorológicas Del Instituto Nacional De Investigaciones Agrícolas (Inia) Venezuela,” Universidad Internacional de Andalucía, 2015.
- [30] T. McKee, N. Doesken, and J. Kleist, “The Relationship og Drought Frequency and Duration to Time Scales,” in *EighthnConference on Applied Climatology*, 1973, vol. 1, no. 1, pp. 17–22.
- [31] Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER, “Sequía Meteorológica Mapas de Amenazas Recomendaciones Técnicas para su Elaboración,” Managua, Nicaragua, 2546.
- [32] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, “Atlas climatológico de Colombia,” Bogotá D.C., 2005.
- [33] Instituto de Hidrologia Meteorología y Estudios Ambientales, “Sequía: Documento Técnico,” Bogotá D.C., 2011. [Online]. Available: http://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/hidrometria/material/Guia_de_Monitoreo.pdf.
- [34] Organización Meteorológica Mundial (OMM), “Índice Normalizado de Precipitación. Guía del usuario,” Ginebra, Suiza, 2012.
- [35] A. Zabaleta, T. Mercado, J. Marrugo, and J. Feria, “Curve Number (CN) as Pressure Indicator of the Hydrological Condition under Global Warming Scenarios at a Local Scale in La Mojana Region, Colombia,” *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 29, pp. 1–12, 2018, doi: 10.17485/ijst/2018/v11i29/129276.
- [36] (CEPAL) Comisión Económica para América Latina y el Caribe and B. I. de D. (BID), “Valoración de Daños y Pérdidas Ola Invernal en Colombia 2010-2011,” Bogotá D.C., 2012.
- [37] G. Palencia, T. Mercado, and E. Combatt, *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba, Montería, Colombia*, 1st ed. Montería, 2006.
- [38] CEPAL, “La economía del cambio climatico en America Latina y el Caribe,” p. 111, 2010.