

USO DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN CON R, PARA LA EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO PAPAGAYO, GUERRERO.

Melina Pavón Méndez[†]

Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, 11234035@uagro.mx

Alma Villaseñor Franco

Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, almafranco@uagro.mx

Norma Arroyo Domínguez

Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, norarraydo@gmail.com

Resumen

La sequía, a partir de sus impactos directos e indirectos, es uno de los fenómenos meteorológicos que causan más estragos a nivel ecológico, social y económico. Puede ser monitoreada y caracterizada mediante la utilización de diferentes índices, entre los que se encuentra el índice estandarizado de precipitación (SPI por sus siglas en inglés) que es uno de los más usados en Norteamérica, lo ideal para aplicar este índice es en un periodo de más de 30 años. El trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la intensidad de la sequía en la cuenca del río Papagayo, en el Estado de Guerrero, mediante el uso del SPI. Se utilizaron registros mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas El Ocotito, Petaquillas, Omiltemi, Acapulco, Escalerilla y Juan R. Escudero entre 1990 y 2019. Se determinó un índice de precipitación estandarizado de 24 meses. Las estaciones meteorológicas mencionadas experimentaron 3, 2, 4, 1, 4 y 4 sequías importantes, respectivamente. Hay más episodios de sequía en las partes norte, central y oriental de la cuenca. En los años 2000, 2006, 2009 y 2011 se reportaron eventos de sequía en la estación de Omiltemi, en los años 1993, 2000, 2003 y 2007 reportaron eventos de sequía en la estación de Escalerilla y en los años 2010, 2011, 2017 y 2019 se reportaron eventos de sequía en la estación de Juan R. Escudero, estos eventos de sequía fueron comparados con los datos proporcionados de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el cual muestra datos del Índice Oceánico del Niño (ONI) en tiempo real, y se observaron coincidencias en los eventos de sequía, ya que al momento que ocurrieron estos eventos de sequías se presentaron anomalías climáticas del fenómeno de La Niña, esto puede ser debido a los cambios que ocurre en el océano por este fenómeno.

Palabras clave

Precipitación, sequía, anomalías climáticas.

Abstract

The drought, from its direct and indirect impacts, it is one of the meteorological phenomena that causes the most ecological, social and economic damage. It can be monitored and characterized by using different indices, among which is the standardized precipitation index (SPI for its acronym in english) which is one of the most used in North America, the ideal time to apply this index over a period of more than 30 years. The work was developed with the objective of evaluating the intensity of the drought in the Papagayo River basin, in the State of Guerrero, through the use of the SPI. Monthly precipitation records from the El Ocotito, Petaquillas, Omiltemi, Acapulco, Escalerilla, and Juan R. Escudero meteorological stations between 1990 and 2019 were used. A standardized 24-month precipitation index was determined. The above meteorological stations experienced 3, 2, 4, 1, 4 and 4 major droughts, respectively. There are more drought episodes in the northern, central and Eastern parts of the basin. In the years 2000, 2006, 2009 and 2011 drought events were reported at the Omiltemi station, in the years 1993, 2000, 2003 and 2007 drought

events were reported at the Escalerilla station and in the years 2010, 2011, 2017 and 2019 drought events were reported at the Juan R. Escudero station, these drought events were compared with data provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), which displays Oceanic Niño Index (ONI) data in real time, and coincidences were observed in drought events, since at the time these drought events occurred, climatic anomalies of the La Niña phenomenon were present, This may be due to the changes that occur in the ocean due to this phenomenon.

Keywords

Precipitation, drought, weather anomalies.

Introducción:

Las sequías forman un fenómeno natural extremo de gran complejidad, que se hace presente como una deficiencia de humedad anormal y persistente (IMTA, 2019). Este fenómeno es caracterizado por una reducción de precipitación pluvial con respecto a lo que se considera normal, puede extenderse de una manera irregular a través del tiempo y del espacio (Gaucin, 2014), lo cual puede provocar déficit hídrico en los suelos bajo explotación agrícola, así como baja disponibilidad de agua en las zonas afectadas (Gómez, Noris, & García Reyes, 2021); causa importantes consecuencias en el medio ambiente, la agricultura, la economía, la salud y la sociedad (Greenpeace, 2017).

Sus impactos se clasifican en directos e indirectos, dentro de los primeros están los biológicos los cuales provocan daños en plantas y animales. Los indirectos son consecuencia de los directos y se asocian con el perjuicio socioeconómico, como es el grado de responsabilidad y los cambios o efectos a largo plazo. Según el daño pueden clasificarse en económicos, ambientales y sociales. El primero provoca pérdida de producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera, causa la regresión en la tasa de crecimiento económico regional; los ambientales, ocasionan daños a los ecosistemas, degradación de la calidad del agua y del aire; por último, los sociales, originan la escasez de cantidad y calidad de alimentos, baja de la calidad de vida e incremento de la pobreza, ocasiona la inestabilidad social, migración hacia áreas urbanas o al extranjero (CONAGUA, 2021).

El monitoreo de la sequía es importante para la planeación, el desarrollo de planes de mitigación y minimizar los impactos que la sequía pueda tener a nivel local, regional e incluso nacional (Sánchez, 2016). Los indicadores o los índices de sequía se utilizan en muchas ocasiones para facilitar el seguimiento de las sequías, y varían en la función de la región y de la estación (OMM, 2016).

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI por sus siglas en inglés) es uno de los más utilizados por su flexibilidad y sencillez de calcular, ya que el único parámetro que se utiliza es la precipitación y se requiere un mínimo 30 años de valores mensuales; es utilizado en más de 70 países para vigilar la sequía (SMN).

Existen varios factores que pueden afectar a la precipitación, uno de ellos puede ser los episodios Cálidos/El Niño y Frío/La Niña que forman parte de un ciclo conocido como “El Niño Oscilación del Sur” (ENSO, por sus siglas en inglés), Estos factores son los más evidentes de la variabilidad climática global (Paredes, et al, 2011).

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló con información de seis estaciones meteorológicas: El ocotito 12156 (17°15'0.00"N y 99°35'0.96"O), Petaquillas 12198 (17°29'8.16"N, y 99°27'14.04"O), Omiltemi 12150 (17°33'24.84"N y 99°41'15.00"O), Acapulco 12172 (16°56'60.00"N y 99°40'59.88"O), Escalerilla 12228 (17°22'13.08"N y 98°50'16.08"O) y Juan R Escudero 12261 (17° 9'29.88"N y 99°32'30.12"O), estas estaciones se encuentran en la cuenca del río Papagayo que se localiza en la porción suroriental del Estado de Guerrero, entre los paralelos 16° 41' y 17° 35' de latitud norte y los meridianos 98° 36' y 99°58' de longitud oeste; la cuenca cuenta con diferentes tipos de climas en función de su altitud sobre el nivel medio del mar, en las zonas topográficamente altas la temperatura varía de 14°C a 27°C, tienen un rango de precipitación de 55mm a 211mm.

Esta cuenca está dividida por 5 subcuencas, y se conforma por 17 municipios; de acuerdo al censo de población del INEGI 2022, habitan 1040549 personas, tanto en zonas urbanas como rurales; tal número de habitantes corresponde al 29 % de la población estatal. Destacan los municipios de Acapulco, en el cual habitan 779566 habitantes de los cuales 658702 se localizan dentro de la cuenca del río Papagayo; así como el municipio de Chilpancingo de los Bravo con 283 354 habitantes, donde 225 802 se localizan dentro de la cuenca, en este municipio se ubica la cabecera municipal Chilpancingo de los Bravo, siendo esta última la capital estatal. Otros municipios que tienen mayor cantidad de población de esta cuenca son Tixtla de Guerrero con un total de 43171 habitantes, de los cuales 25188 se ubican en la cuenca; Ayutla de los Libres con 18242 hab., Coyuca de Benítez 13959 hab, Chilapa de Álvarez con 33806 hab. y San Marcos con 13675 habitantes en la Cuenca.

Es importante señalar la existencia de 898 localidades rurales al interior de la cuenca, muchas no tienen acceso a los diferentes servicios, entre ellos el agua entubada; tienen diferentes tipos de climas en función de su altitud sobre el nivel medio del mar, en zonas topográficamente altas predominan el clima, templado húmedo (CM), semicálido subhúmedo (AC(W)), semicálido húmedo (AC(M)) y cálido subhúmedo (A(W)). Así mismo, en la cuenca se realizan extensas actividades agropecuarias mediante la siembra de frijol, sorgo grano y de maíz grano, esta última es la que predomina.

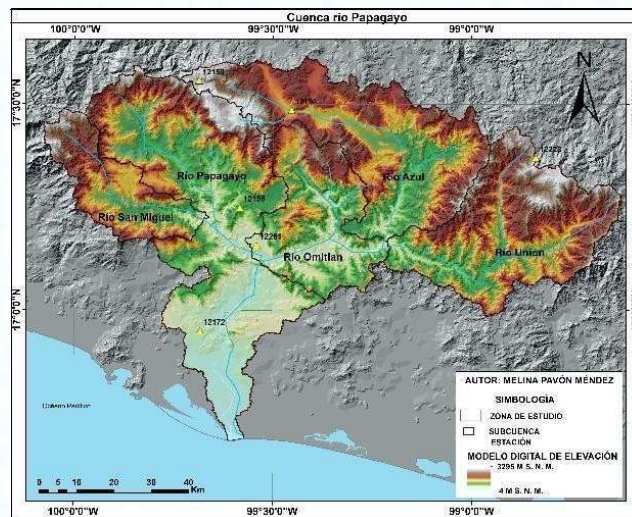


Figura 1 Área de estudio. En ella se aprecia el parteaguas de la subcuenca, las corrientes principales, así como la distribución de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Con los datos de precipitación, tomados en el periodo de 1990-2019 (figura 2), se obtuvo el SPI para 24 meses, el cual muestra el comportamiento de las precipitaciones anuales en las seis estaciones meteorológicas durante el periodo analizado.

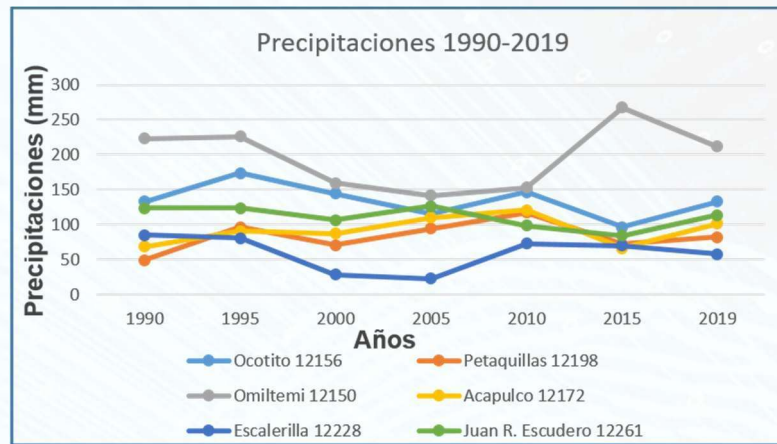


Figura 2 Precipitación. Se aprecia el comportamiento de las precipitaciones anuales durante el periodo 1990-2019.

De acuerdo a McKee (1993), el SPI se creó para cuantificar el déficit de precipitación para diferentes escalas temporales, por eso es adecuado para evaluar la intensidad de sequía y tener una alerta temprana de la sequía (OMM, 2012).

El SPI es el número de desviación estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico, de ahí que valores por debajo de -1 indican condiciones de déficit significativo, mientras que valores mayores a +1 representan una condición más húmeda que lo normal. McKee y otros (1993) utilizaron el sistema de clasificación mostrado en el cuadro de valores SPI que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de la sequia de acuerdo a valores SPI.

SPI	Categoría	Probabilidad %
Mayor 1.65	Extremadamente húmedo	4.9
1.28 a 1.64	Severamente húmedo	5.1
0.84 a 1.27	Moderadamente húmedo	10
-0.83 a 0.83	Normal	60
-1.27 a -0.84	Moderadamente seco	10

-1.64 a -1.28	Severamente seco	5.1
Mayor a -1.65	Extremadamente seco	4.9

Hoy en día existen varios sistemas que facilitan el cálculo de los Índices, uno de ellos es el sistema de programación RStudio; es una plataforma que permite realizar un análisis estadístico con herramientas gráficas avanzadas; incluye paquetes para procesar diversos datos como censos y series de tiempo; también implementa una gran variedad de métodos estadísticos; es por ello que R es una herramienta muy importante para llevar a a cabo el mapeo y el análisis de todo tipo de información georreferenciada (Mas, 2018).

Para llevar a cabo el proceso de obtención del SPI se utilizó RStudio, en la table 2, se puede observar el código empleado para el cálculo la graficación de los resultados.

Tabla 2 Proceso de la aplicación del SPI en R Studio

Dir ()
Setwd(choose.dir())
Install.packages("SPEI")
Datach("packages:SPEI",unload = TRUE)
Library("SPEI")
Aci<-read.table("ayutla.txt",header = T)
Aci
Spi12<-spi(aciprecipitación,12)
Spi12
Plot.spei(spi12)

Existen varios factores que provocan la sequía, destaca las variaciones climáticas. El Niño y La Niña son fenómenos naturales caracterizados por la oscilación de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del pacífico ecuatorial, influyendo de manera importante en las condiciones climáticas de diversas partes del mundo (OMM, 2023).

El monitoreo de estos fenómenos se realiza con ayuda de índices, que ofrecen información en tiempo real, predicen y describen variaciones climáticas como es el Índice del Niño Oceánico (ONI), que muestra valores de anomalías mensuales, los cuales pueden variar de cálidos-El Niño (rojo) a fríos-La Niña (azul) (tabla 2) ((NOAA), 2023)

Tabla 3. Datos del índice Oceánico del Niño (ONI). Valores en color rojo representa el fenómeno El Niño, valores en color azul representa el fenómeno La Niña y los valores en negro representa valores normales.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5

Tabla 3 Datos del Índice Oceánico del Niño (ONI).

Resultados y discusión

Se aplicó el SPI-24 meses para cada una de las seis estaciones, los resultados en la estación El Ocotito (figura 4) muestran valores correspondientes a la categoría “extremadamente seco” en los años 1996, 2014 y 2017, en los otros años predomina la categoría “moderadamente seco”. En la estación Petaquillas (figura 5), solamente muestra sequía “extremadamente seco” para los años 1992 y 1993, así como también se aprecia que entre los años 2004 al 2013 hubo valores en la categoría “normal”. En la estación Omiltemi (figura 6) en 1999, 2006 y 2011 se obtuvieron valores relacionados a “severamente seco” y los otros años presentaron valores en el rango “normal”. En la estación de Acapulco (figura 7) se observa en el 2017 un valor asociado a “severamente seco”, en 1993 y 1996 valores indicaron un estado “moderadamente seco” y de 1997 a 2016 “normal”. Para la estación Escalerilla (figura 8) los valores para los años 1993, 2000, 2004 y 2006 se asocian a “extremadamente seco”, mientras que del 2007 al 2019 indican “normal”; por último, en la estación de Juan R. Escudero (figura 9) de 1990 al 2010, “severamente secos”.

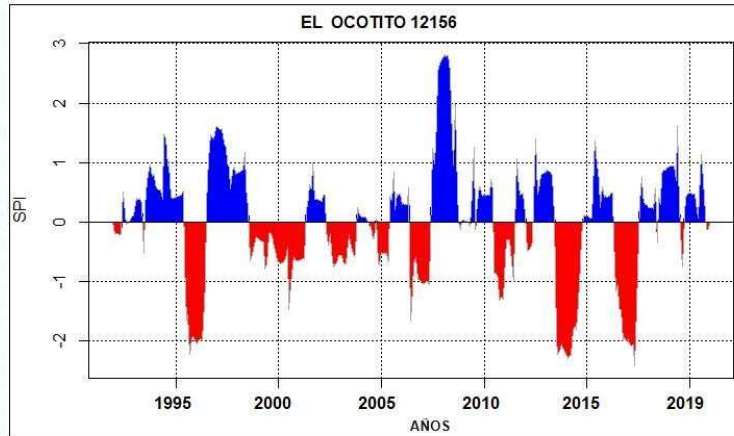


Figura 3 SPI para la estación El ocotito 12156.

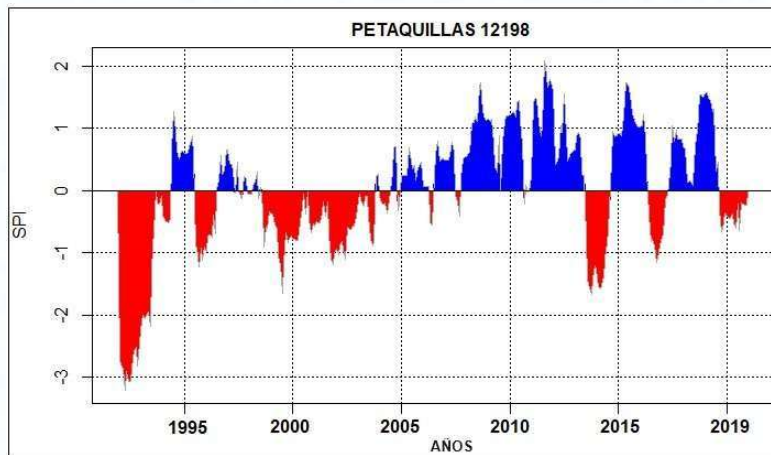


Figura 4 SPI para la estación Petaquillas 12198.

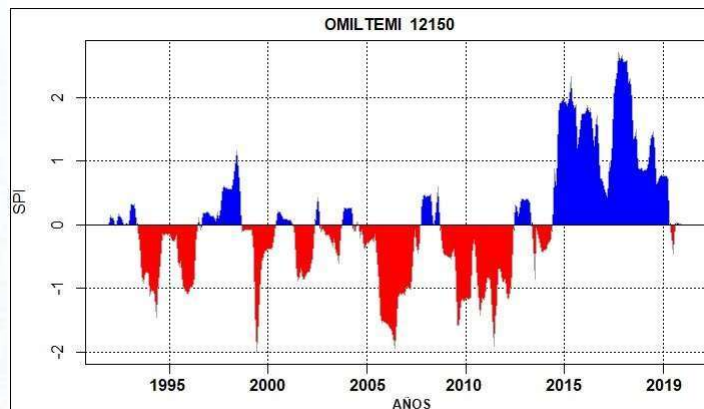


Figura 5 SPI para la estación Omiltemi 12150

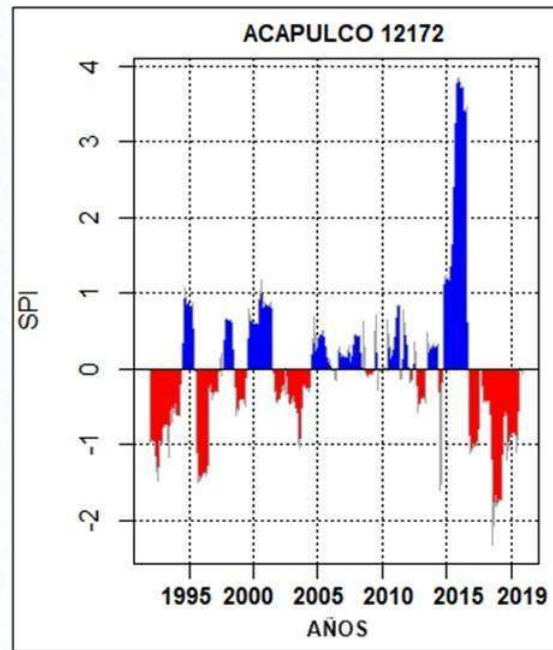


Figura 6: SPI para la estación Acapulco 12172

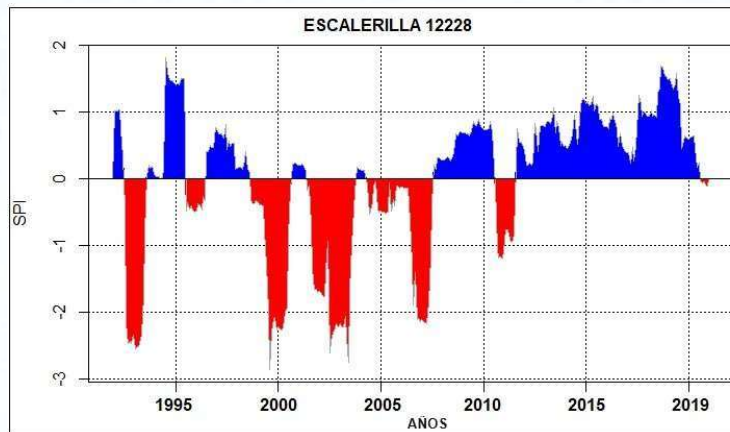


Figura 7: SPI para la estación Escalerilla 12228.

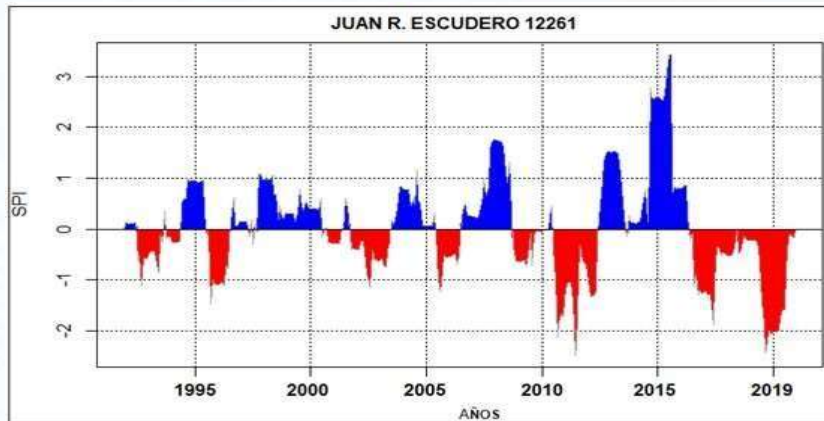


Figura 8: SPI para la estación Juan R. Escudero 12261.

Los resultados del SPI para cada estación fueron comparados con el Índice Oceánico del Niño (ONI) (tabla 2), tomados de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) en tiempo real, y se puede observar que la sequía tiene relación con esta variabilidad climática ya que en los años que se presenta el fenómeno La niña (valores azules) observaron sequías en varias de las estaciones. En seguida se presentan dos mapas del SPI en los periodos donde se presentó el fenómeno La Niña (2011) y El Niño (2015).

En la figura 8 se muestra el resultado obtenido del SPI para el periodo 2011, en este año, de acuerdo a los valores del índice Oceánico del Niño (tabla 3), hubo presencia del fenómeno La Niña, y se puede observar que en ese periodo se presentaron valores negativos el cual indica presencia de normal a severamente seco.

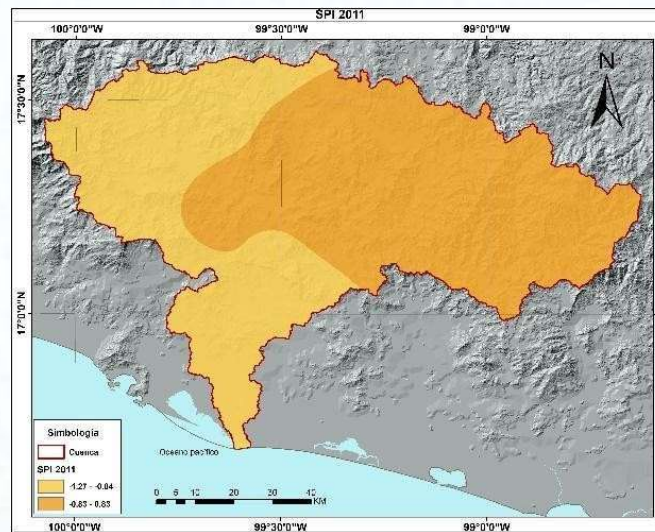


Figura 9: Mapa de SPI 2011.

En la figura 9 se muestra el resultado obtenido del SPI para el periodo 2015, en este año, de acuerdo a los valores del índice Oceánico del Niño (tabla 3), hubo presencia del fenómeno El Niño. Se puede observar que en ese periodo se presentaron valores negativos, así como también positivos, el cual indica presencia de severamente seco a severamente húmedo.

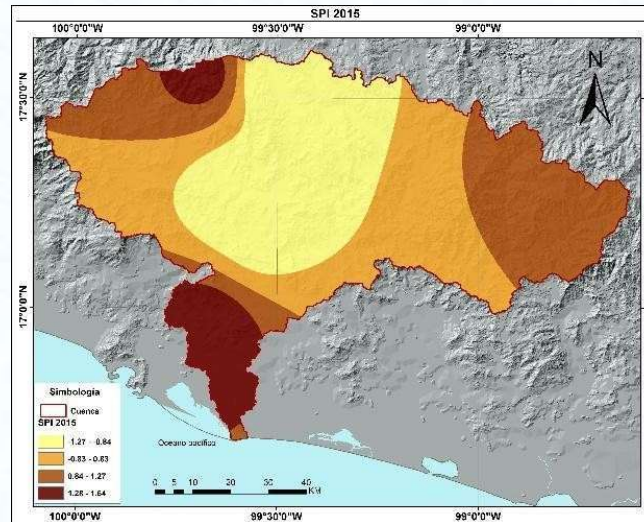


Figura 10: Mapa de SPI 2015

Conclusiones

Durante el periodo de 1990-2019 ocurrieron varios eventos de sequía de diferentes categorías, las estaciones de El Ocotito y Escalerilla fueron las que presentaron más eventos de sequía extrema, posiblemente debido a su ubicación geográfica y a que la estación se encuentra dentro de un área urbana, ya que puede influir de la manera en que hay poca vegetación y más gasto de agua debido a que son zonas urbanas. Las estaciones que presentaron menos sequía son las que se encuentra en la parte alta de la cuenca y en la parte costera como es el caso de la estación de Acapulco 12172.

Se observó que unos de los factores que ocasionan que haya sequía son los cambios climáticos como son La Niña y El Niño esto puede ser por los cambios de temperatura que ocasionan en el océano; otro de los factores que puede ocasionar la sequía es la población que habita en la cuenca, por los usos que le dan al agua como el abastecimiento a la población y riego de la agricultura.

REFERENCIAS

- CONAGUA, C. N. (2021). Efectos o impactos de la sequía.
- Gaucin, D. O. (2014). Sequía: causas y efectos de un fenómeno global. Ciencia UANL, 15.
- Gómez, J. A., Noris, P., & García Reyes, R. A. (2021). Uso del índice de precipitación estandarizado para la evaluación de la intensidad de la sequía de la provincia de Holguín. Scielo.
- Greenpeace. (2017). Sequía algo más que falta de lluvia. Greenpeace.

- IMTA, I. M. (2019). ¿Qué son las sequías?
- Mas, J.-F. (2018). Análisis espacial con R: Usa R como un sistemas de información Geográfica
- Naranjo, A. B. (21 de febrero de 2017). Monitoreo y prevención de la sequía en México. (U. g. revista, Entrevistador)
- (NOAA), N. W. (2023). Episodios fríos y cálidos por temporada OMM,
- O. M. (2012). Índice normalizado de precipitación.
- OMM, O. M. (2016). Manual de indicadores e índices de sequía.
- OMM, O. M. (2023). El Niño/La Niña hoy.
- Paredes, J. C., Villanueva Díaz, J., Valdez Cepeda, R. D., & Constante García, V. (2011). El Niño Oscilación del Sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas. SciELO.
- Sánchez, R. L. (2016). El monitor de la sequía en México. Scielo.
- SMN, S. M. (s.f.). Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17 to 22 January 1993
- ell'Acqua, F. & Pasca, L. (2014) Technical Education in the European University System on Aerospace and Remote Sensing: A Year 2013 Review [Education]. Geoscience and Remote Sensing Magazine, IEEE, 2(1), 29 – 33. Doi:10.1109/MGRS.2014.2304131 (NOAA),
- N. W. (2023). Episodios fríos y cálidos por temporada.
- OMM, O. M. (2023). El Niño/La Niña hoy.
- Review [Education]. Geoscience and Remote Sensing Magazine, IEEE, 2(1), 29 – 33. Doi:10.1109/MGRS.2014.2304131