
DETERMINACIÓN DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA MEDIANTE SPI Y AFORO DE MANANTIALES EN MESES LLUVIOSOS EN SAN MARCOS DE LEÓN, VERACRUZ

DETERMINATION OF METEOROLOGICAL DROUGHT THROUGH SPI AND SPRING GAUGING IN RAINY MONTHS IN SAN MARCOS DE LEÓN, VERACRUZ

Juan Cervantes Pérez, Paulo César Parada Molina, Katia Fernández González, Jesús Antonio Cervantes Nepomuceno, Oscar Sahí Luna Gregorio, Arturo Ruíz Ruíz, Gabriel Flores Suárez, Alejandra Carmona Huesca, Alejandra García Alonso y Daniel Barragán Cadena¹

SUMARIO: I. Introducción, II. Desarrollo, II.1. Zona de estudio, II.2 Metodología, III. Resultados, IV. Discusión, V. Conclusiones y recomendaciones, VI. Referencias

RESUMEN

Este manuscrito está integrado por una introducción donde se describe la importancia de analizar la sequía y los manantiales; una descripción sucinta del área de estudio, la metodología que se utilizó, los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones a las que se llega en este análisis. Los eventos de sequía en el centro del estado de Veracruz son cada vez más frecuentes; un primer paso es determinar su presencia e intensidad, por lo que en este trabajo se realizó un análisis de la condición de la sequía la zona de San Marcos de León usando el índice SPI. En tanto, los manantiales son usados como fuentes de agua generalmente por poblaciones rurales y relativamente con poca población; sin embargo, no existe un monitoreo continuo que permita conocer el flujo de agua y sus variaciones a lo largo del tiempo, de tal manera que se realizaron aforos en tres manantiales de San Marcos de León, Veracruz. Los resultados muestran el registro de eventos de sequía en la zona de San Marcos; mientras que los flujos de agua de los manantiales se mantuvieron casi constantes en los meses de medición.

PALABRAS CLAVE: sequía, manantiales, San Marcos de León, Veracruz

ABSTRACT

Drought events in the center of the state of Veracruz are increasingly frequent; A first step is to determine its presence and intensity, so in this work an analysis of the drought condition in the San Marcos de León

¹ Los dos primeros autores son investigadores en temas del medio ambiente, incluyendo el agua, así como docentes en programas educativos de nivel licenciatura y posgrado. Los demás autores son alumnos de la Licenciatura en Ciencias Atmosféricas de la Universidad Veracruzana.

area was carried out using the SPI index. Meanwhile, springs are used as water sources generally by rural and relatively small populations; However, there is no continuous monitoring that allows knowing the flow of water and its variations over time, such that gauging was carried out in three springs in San Marcos de León, Veracruz. The results show the record of drought events in the San Marcos area; while the water flows of the springs remained almost constant in the months of measurement.

KEYWORDS: drought, springs, San Marcos de León, Veracruz

I. INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los fenómenos naturales que más daños ha causado a la población mundial (WMO, 2006). Todos los lugares del planeta están expuestos a su eventual ocurrencia, incluso las zonas distintivamente lluviosas (Wilhite, 2000). Sus efectos van desde aquellos de carácter físico a corto plazo (escasez o falta de agua para las actividades cotidianas) y ambiental (daños en la flora y fauna silvestres) hasta los impactos sociales y económicos de gran alcance como son pérdidas de la producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera; conflictos por el agua, entre otros (Ortega-Gaucin y Velasco, 2013).

México ha sufrido los efectos adversos de las sequías de manera frecuente y persistente. A través de su historia ha sido implementada una gran diversidad de medidas con el propósito de prevenir o atenuar sus impactos. Estas medidas van desde aquellas que tienden a influir directamente sobre el clima mediante actos mágicos y rogativas a dioses y santos, hasta el uso de tecnologías avanzadas y la instauración de políticas públicas nacionales para aminorar las repercusiones de la sequía en la economía y la sociedad. Aunque en la actualidad contamos con mayor conocimiento científico y desarrollo tecnológico para hacer frente a la sequía, lo cierto es que estas herramientas no constituyen por sí mismas la solución al problema, sino que, más bien, son complementarias de otras acciones y estrategias de corte político, económico y social que de manera conjunta contribuyen a aminorar los efectos perjudiciales del fenómeno (Ortega-Gaucin, 2018).

En el caso de Veracruz, Pereyra y Sánchez (1995) determinaron los periodos de sequía que se presentaron, con base en los registros históricos de precipitación, en el periodo 1955-1989. También realizaron un balance hídrico, habiendo encontrado que existen seis regiones con déficit de humedad, que se encuentran distribuidas en el centro y norte de la entidad.

Por su parte, Welsh y otros (2022) señalan que la sequía es una amenaza real, silenciosa y de alto impacto. Para el norte de Veracruz observaron que el índice estandarizado de precipitación (SPI por sus siglas en inglés) mostró buenos resultados para la caracterización de este fenómeno.

Por otra parte, un número significativo de las localidades del país, sobre todo indígenas, se encuentran asentadas en las partes altas de las cuencas, correspondientes a áreas forestales, con una función hidrológica esencial para la recarga de los acuíferos y abasto de agua para las ciudades y zonas de riego (Martínez, 2017). Aunque en muchas poblaciones, incluyendo indígenas, se ha introducido el servicio de agua potable a través de sistemas de tuberías, una gran parte de ellas sigue dependiendo del uso de manantiales para su sobrevivencia (Villagómez *et al*, 2013).

Así, el objetivo de este proyecto fue calcular el SPI en períodos de 1, 3, 6 y 12 meses en la zona de la región de San Marcos de León (San Marcos de aquí en adelante), Ver., así como realizar medir el flujo de agua de tres manantiales de esta localidad.

II. DESARROLLO

II.1. Zona de estudio

La localidad de San Marcos está situada en el municipio de Xico (en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). Dentro de todos los pueblos y localidades del municipio, ocupa el segundo lugar en cuanto a número de habitantes: 7,738 (INEGI, 2010). La figura 1 muestra la ubicación de San Marcos dentro del municipio de Xico así como en la entidad veracruzana.

El mismo INEGI (2010) señala que San Marcos cuenta con un clima de tipo semicálido húmedo con lluvias todo el año, mientras que la isoterma anual es de 20°C y la isoyeta anual corresponde a 2500 mm. A nivel general, como en la mayor parte del país, en la zona se presentan dos grandes temporadas climáticas: la de secas (de noviembre a abril) y la de lluvias (de mayo a octubre) (Mosiño y García, 1974).

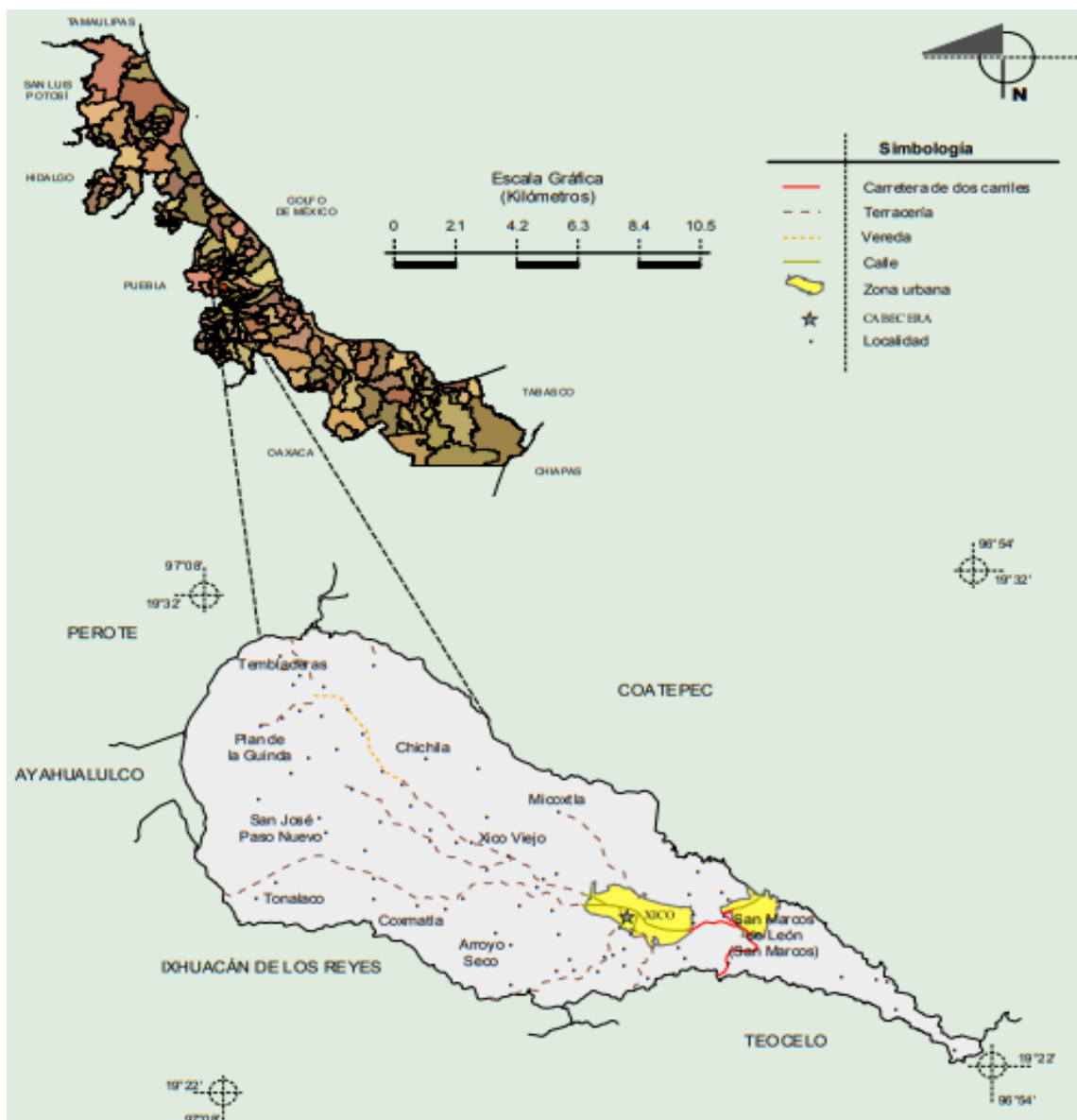


Figura 1. Georeferencia de la localidad de San Marcos de León, Veracruz. Fuente: INEGI, 2010

Por un extremo de la localidad cruza un río perenne llamado Huehueyapan por los pobladores locales. El uso del suelo en los alrededores es agrícola (de acuerdo a INEGI, 2010), aunque aún se observa una amplia zona cubierta por cafetales. En cuanto al tipo de suelo de la zona es luvisol.

En la figura 2 se muestra la ubicación de los tres manantiales seleccionados para realizar los aforos: Col. Úrsulo Galván, El tubito y Pozo Santo.



Figura 2. Ubicación de los tres manantiales aforados en San Marcos, Veracruz (Imagen base de Google Earth)

II.2 Metodología

a) El SPI

El SPI se obtiene mediante un proceso que consiste en determinar una distribución de probabilidad (generalmente la gamma) a las series de precipitación acumuladas y homogéneas, con 30 o más años de registro, y posteriormente, cada dato gamma acumulado, se convierte con una distribución normal inversa, al índice SPI, con media cero y varianza uno (Guevara, 2019).

El SPI puede ser obtenido para diferentes escalas de tiempo: 1, 3, 6, 12 y 24 meses. Se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales, las cuales reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de precipitación en una escala relativamente corta. Las anomalías de precipitación a largo plazo quedan reflejadas en las aguas subterráneas, los caudales fluviales y el almacenamiento en reservorios; según los valores del índice, las clases de humedad/sequía se muestran en la tabla 1 (OMM, 2012). Puesto que en San Marcos no hay una estación climatológica, se decidió calcular el SPI a 12 meses (anomalías de precipitación a largo plazo que se reflejan en las aguas subterráneas, los caudales fluviales y el almacenamiento en reservorios) de dos estaciones climatológicas cercanas: Coatepec y Teocelo. Los datos de precipitación diarios fueron obtenidos de la página web del Servicio Meteorológico Nacional¹ y

¹ <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

complementada por el Departamento de Hidrometeorología del Organismo de Cuenca Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua, así para Coatepec se tuvo el periodo 1961-2021 y para Teocelo 1944-2021.

Tabla 1. Condiciones asociadas al SPI (tomada de OMM, 2012)

2,0 y más	extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	muy húmedo
1,0 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	moderadamente seco
-1,5 a -1,99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

Por otra parte, cuando el índice es estandarizado o normalizado (como lo denomina la Organización Meteorológica Mundial, OMM), entonces se pueden obtener las probabilidades de ocurrencia del evento de sequía; así la tabla 2 muestra la probabilidad de recurrencia de la sequía de acuerdo a los valores del SPI.

b) La disponibilidad hídrica de los manantiales

Para llevar a cabo los aforos en los tres manantiales se eligió el procedimiento aforo por volumen (Kennedy *et al.*, 1992), que consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad del agua que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. El período de aforos se realizó en los meses de septiembre y octubre de 2023; los tres manantiales se aforaron en las mismas fechas. La figura 3 muestra un ejemplo de la realización de aforo en uno de los manantiales.

Tabla 2. Probabilidad de recurrencia de la sequía de acuerdo a los valores de SPI (tomada de OMM, 2012)

SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0,99	Sequía leve	33	1 en 3 años
-1,00 a -1,49	Sequía moderada	10	1 en 10 años
-1,5 a -1,99	Sequía severa	5	1 en 20 años
< -2,0	Sequía extrema	2,5	1 en 50 años



Figura 3. Aforo por volumen el 30 de septiembre de 2023 en el manantial Col. Úrsulo Galván

El manantial Pozo Santo presenta dos escorrentías dobles (una en la parte superior y otra en la parte inferior), se procedió de la siguiente forma:

- Se aforaron 5 veces cada salida (denominadas derecha e izquierda) de cada piso (superior e inferior).
- Se obtuvo el aforo promedio de cada salida
- Se sumaron los promedios en cada piso (superior e inferior)
- Se promedió el promedio de cada piso

Lo anterior se realizó para corroborar y comparar que el gasto de la parte superior no difiriera en forma excesiva del gasto inferior.

Finalmente se graficaron de manera conjunta los aforos y las cantidades de precipitación registradas en las estaciones climatológicas de Coatepec y Teocelo, con el fin de observar si, como es de esperarse, el registro de precipitación aumenta el volumen aforado.

III. RESULTADOS

a) Para el SPI

La figura 4 muestra el SPI a 12 meses en la estación Coatepec. Si bien los valores negativos del SPI presentan una tendencia a la disminución, en los últimos 18 años se han presentado eventos de sequía leve y moderada (tabla 2). Es importante mencionar que los valores de la serie del SPI señalan que en las décadas de los setentas, ochentas y noventas, se registraron episodios extremadamente secos, lo que no descarta la posibilidad de ocurrencia nuevamente.

En tanto, la figura 5 muestra el SPI a 12 meses en la estación Teocelo. En este caso, la serie de datos analizada fue de más de 70 años: de 1944 a 2021. A diferencia de Coatepec, en este caso la frecuencia de valores negativos del SPI han ido aumentando (con un máximo hace unos 20 años, en la década de los noventa), además de que en magnitud, los valores negativos en Teocelo son mayores a los de Coatepec. Así, los eventos de sequía registrados caen en la categoría de moderada a severa (tabla 2). De acuerdo a la probabilidad de recurrencia mostrada en la tabla 2, no se descarta que este tipo de eventos pueda volver a presentarse en esta localidad.

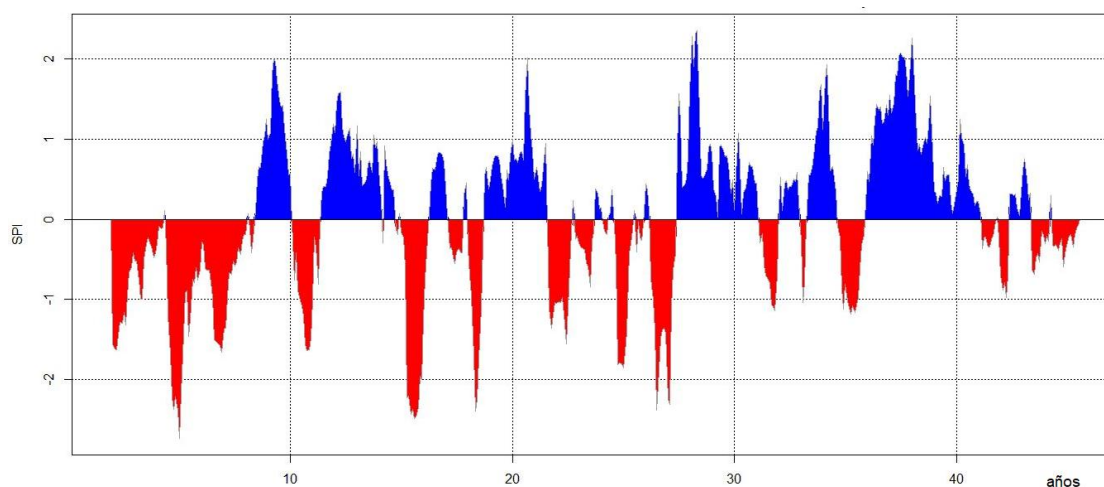


Figura 4. SPI de 12 meses para la estación Coatepec

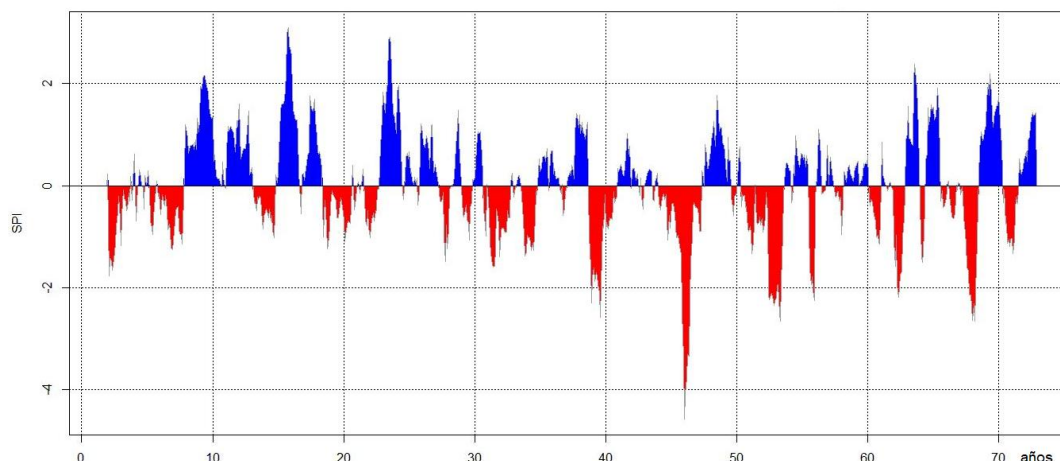


Figura 5. SPI de 12 meses para la estación Teocelo

En todo caso, es importante notar que en ambas localidades se han registrado con frecuencia eventos de sequía que pueden afectar los reservorios de agua, y que por lo tanto son indicativos de considerar acciones preventivas y de mitigación. Asimismo, al ubicarse San Marcos entre estas dos localidades, se puede inferir que se han registrado eventos de sequía con intensidad que podría ir de leve a severa.

b) La disponibilidad hídrica de los manantiales

En la tabla 3 se presentan las fechas y los gastos de los aforos obtenidos durante las 13 medidas realizadas; las unidades de los gastos son l/s. El manantial Col. Úrsulo Galván es el que registró el mayor volumen, muy parecido al del *Pozo Santo* en su parte inferior, mientras que El Tubito registró la menor cantidad.

Tabla 3. Resumen de gastos obtenidos en los 13 aforos realizados en los manantiales durante los meses de septiembre y octubre 2023

Aforo	Fecha	Col. Úrsulo Galván l/s	El Tubito l/s	Pozo Santo	
				Superior l/s	Inferior l/s
1	2 de septiembre	0.992	0.259	0.355	0.909
2	9 de septiembre	0.876	0.158	0.389	1.067
3	16 de septiembre	0.992	0.092	0.356	1.196
4	23 de septiembre	1.026	0.048	0.330	0.809
5	26 de septiembre	1.072	0.043	0.368	1.043
6	30 de septiembre	0.980	0.128	0.380	1.063
7	5 de octubre	1.060	0.109	0.244	1.066

8	7 de octubre	1.046	0.121	0.345	0.848
9	12 de octubre	1.137	0.109	0.384	1.017
10	14 de octubre	1.028	0.080	0.300	0.391
11	21 de octubre	0.998	0.088	0.773	1.765
12	28 de octubre	1.061	0.139	0.304	0.924
13	30 de octubre	1.038	0.139	0.335	0.904
	Gasto Promedio	1.023	0.116	0.374	1.000

Un aspecto interesante es el caso de Pozo Santo, donde se esperaba que el gasto de la parte superior fuera similar al de la parte inferior. Una observación detallada de los alrededores inmediatos del encauce mostró que hay otra fuente que contribuye al flujo de la parte inferior y de ahí el aumento del flujo en forma significativa en esta parte.

Por otra parte, en las tablas 4 y 5 se muestra el registro de precipitación en Coatepec y Teocelo en el período agosto-octubre 2013 y su comparación con la normal climatológica de precipitación de varios periodos. La intención de estas tablas es mostrar el comportamiento de la precipitación dado que finalmente, el escurrimiento hacia los manantiales es producto de este fenómeno.

Tabla 4. Precipitación registrada en la estación climatológica Coatepec en el periodo agosto-octubre 2023 y anomalía con relación a la Normal Climatológica de precipitación de varios periodos

Mes	Precipitación (mm)	Normales 1961-1990	Anomalía (%)	Normales 1971-2000	Anomalía (%)	Normales 1981-2010	Anomalía (%)
Agosto	295.5	223.9	32	218.5	35.2	177.9	66.1
Septiembre	217.1	294.5	-26.3	317.7	-31.7	349.6	-37.9
Octubre	173.7	150.8	15.2	148.4	17.1	186.0	-6.6

Tabla 5. Precipitación registrada en la estación climatológica Teocelo en el periodo agosto-octubre 2023 y anomalía con relación a la Normal Climatológica de precipitación de varios periodos

Mes	Precipitación (mm)	Normales 1961-1990	Anomalía (%)	Normales 1971-2000	Anomalía (%)	Normales 1981-2010	Anomalía (%)
Agosto	363.0	278.3	30.4	273.2	32.9	279.5	29.9
Septiembre	372.0	358.1	3.9	369.7	0.6	356.8	4.3
Octubre	257.1	174.2	47.6	187.4	37.2	199.3	29.0

En el caso de Coatepec (tabla 4), la precipitación de agosto estuvo por arriba de lo normal. Si bien la intención no es hacer un análisis de la tendencia de la precipitación, es interesante observar que el valor normal de la precipitación ha ido disminuyendo en forma significativa, de tal manera que la anomalía varía del 32 al 66.1% por arriba de lo normal. Lo anterior implica que en el mes de agosto, la saturación del suelo pudo haber sido mayor a lo normal, y por lo tanto, el escurrimiento y la infiltración también en mayor cantidad. Así, la infiltración puede haber impactado en el gasto medido en los manantiales.

En el mes de septiembre se observa un comportamiento de la precipitación inverso al del mes de agosto, esto es, la cantidad de precipitación registrada fue menor, y la anomalía fue negativa e incluso aumentando. Finalmente en el mes de octubre la precipitación registrada presentó una anomalía positiva con relación a los periodos 1961-1990 y 1971-2000, mientras para el periodo 1981-2010 fue negativa. En comparación con los valores de los meses de agosto y septiembre, la anomalía tuvo un valor relativamente bajo.

En el caso de Teocelo (tabla 5), los valores de precipitación registrados fueron más altos que los de Coatepec y las anomalías fueron positivas. En el caso de septiembre, la anomalía presentó el valor más bajo (se puede considerar casi normal), mientras que las anomalías de agosto y octubre sí fueron significativas.

En resumen, se puede considerar que el período agosto-octubre 2023 fue lluvioso en ambas localidades. Finalmente, las figuras 6 y 7 muestran la precipitación registrada en los meses de septiembre y octubre y los gastos de los aflores en los manantiales muestreados. No se observa un cambio significativo en los gastos producto de la precipitación registrada.

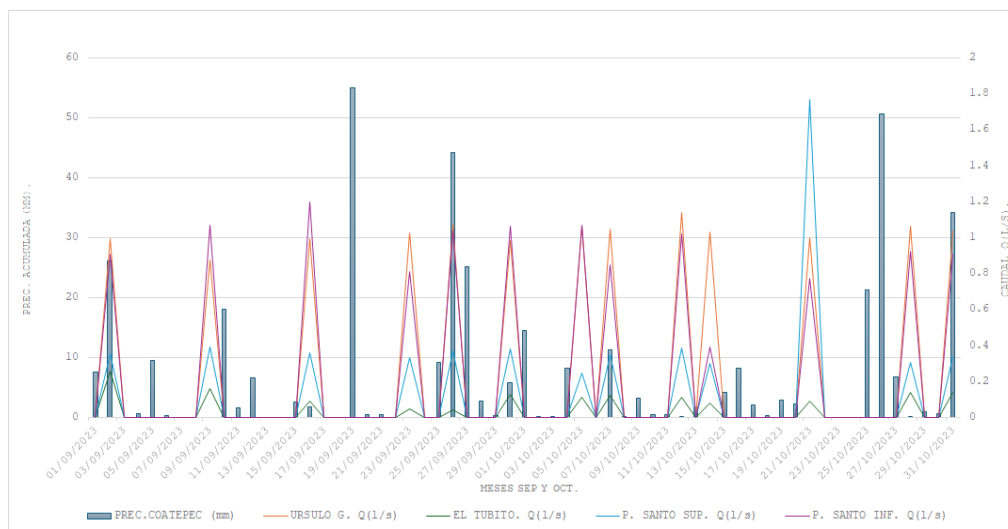


Figura 6. Precipitación diaria registrada en los meses de septiembre y octubre en la estación climatológica Coatepec y gastos en los manantiales aforados

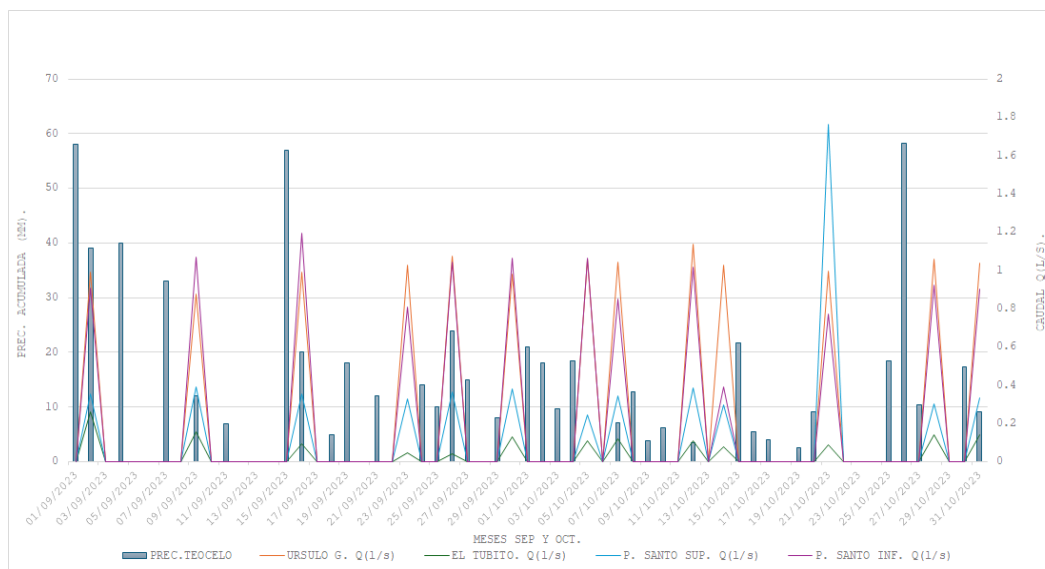


Figura 7. Precipitación diaria registrada en los meses de septiembre y octubre en la estación climatológica Teocelo y gastos en los manantiales aforados

IV. DISCUSIÓN

La sequía es un fenómeno que afecta a todo el país, incluyendo zonas o estados donde la lluvia es abundante como Oaxaca, Guerrero, Chiapas y desde luego Veracruz (Ortega-Gaucin et al, 2018). Así, un primer paso es determinar los eventos de sequía que se han registrado y su intensidad, motivo por el cual se usó el SPI, índice avalado por la Organización Meteorológica Mundial.

En el estado de Veracruz, Salas *et al.* (2021) utilizaron el SPI para evaluar la sequía en una amplia zona en el centro, obteniendo que los municipios de Emiliano Zapata, Paso de Ovejas, Camarón de Tejeda, Actopan, Jilotepec, Coatepec, Banderilla, Misantla y Xalapa (en su estudio no incluyeron al municipio de Teocelo) tienen una alta vulnerabilidad a la sequía. La característica de estos municipios es que se ubican a 1500 msnm o más. Así, los resultados encontrados en este trabajo son similares en el municipio de Coatepec, además de que los resultados de este trabajo muestran que en Teocelo la intensidad de la sequía está aumentando.

En cuanto al uso de los manantiales como surtidores de agua a poblaciones locales, Menchaca y otros (2023) estudiaron la disponibilidad hídrica del manantial Ojo de Agua en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, y señalan que se reitera que el medir los caudales de los cuerpos de agua es una de las leyes y/o políticas más importantes en el contexto de la gestión y manejo de los recursos hídricos, con especial atención para

aquellos que abastecen a la población, ya que permite contar con información confiable para analizar el comportamiento diacrónico sobre la disponibilidad de agua, en relación a la demanda de los usuarios del recurso hídrico, pero también conservar los ecosistemas conexos al agua, lo que es fundamental para que la sociedad tenga los beneficios ambientales en el presente y futuro. Las cantidades de disponibilidad de agua obtenidos por estos autores son muy superiores a las aquí obtenidas (desde los 21 hasta los 57 l/s), pero se destaca la importancia y necesidad de medir la disponibilidad de agua de estas fuentes.

Un objetivo que se persigue con la medición del flujo de agua de los manantiales, es evaluar su posible uso como fuentes alternativas de agua. En este trabajo solo se midieron los flujos en meses lluviosos como ya se comentó, pero se siguen midiendo en otros meses con características climáticas diferentes. Esta evaluación es importante, considerando que desde 2022 en el país se ha presentado un evento de sequía que se ha acentuado en el año 2024¹. La zona centro de Veracruz no fue la excepción y, como se observa en la figura 8, si bien la sequía fue catalogada como moderada en esta zona, la falta de registro de precipitación, las altas temperaturas registradas en la zona, como fue el caso de Xalapa (figura 9) y los ríos con caudales muy bajos e incluso sin caudal (figura 10), generaron que los tandeos de agua en las ciudades y localidades fueran extremadamente rigurosos provocando una especie de angustia generalizada al observar la disminución de caudales en las fuentes de agua.

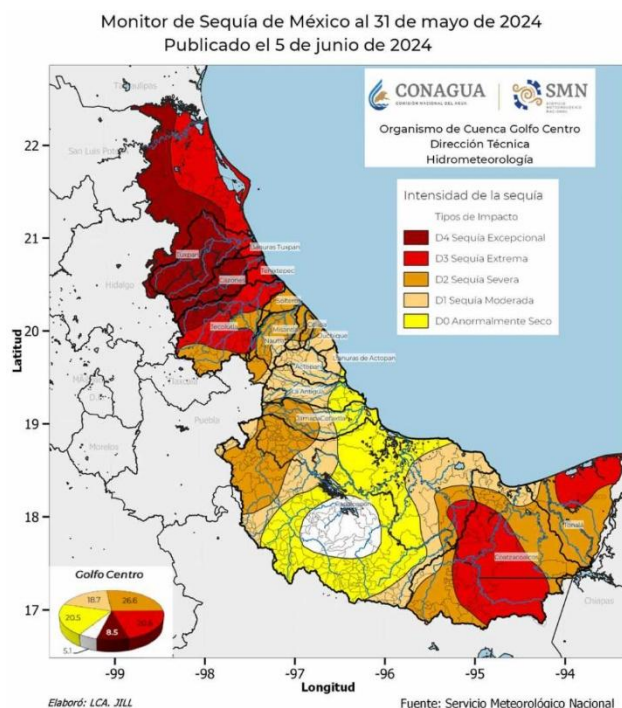


Figura 8. Monitor de sequía en la entidad veracruzana al 31 de mayo de 2024 (imagen cortesía del Departamento de Hidrometeorología del Organismo de Cuenca Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua).

¹ https://unamglobal.unam.mx/global_revista/consecuencias-de-la-sequia-en-mexico/

No se puede dejar fuera de la discusión la relación entre la disponibilidad del agua y el cambio climático. No existen muchos estudios a nivel de la zona de estudio, pero a nivel país en general las perspectivas no son buenas al esperarse un aumento en la temperatura y cambios en los patrones de precipitación que, sin duda, provocarán una mayor presión sobre los recursos hídricos. El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) ha trabajado en la elaboración de la Plataforma de Cuencas y Cambio



Figura 9. Temperaturas y precipitación registradas en el Observatorio Meteorológico de Xalapa en el periodo del 1 de abril al 23 de mayo de 2024



Figura 10. Caudal del río Pixquiac cerca de Coatepec, Veracruz en abril de 2024 ¹

A ese día se tenían 28 días consecutivos con temperaturas máximas registradas superiores a los 30 °C (imagen cortesía del Departamento de Hidrometeorología del Organismo de Cuenca Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua).

¹ <https://www.postamexico.com/mexico/sequia-en-abril-la-falta-de-agua-en-rios-de-veracruz-preocupa-a-residentes/v-vl1565649>

Climático¹ y el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático² donde señala para la entidad veracruzana³: Las proyecciones de la precipitación muestran en el escenario más favorable (SSP1 RCP2.6) un ligero incremento de la precipitación en todos los periodos, mientras que en el escenario más pesimista (SSP5 RCP8.5) hay una disminución gradual de la precipitación hasta llegar a un 10% por debajo con respecto a 1981-2010. El mayor porcentaje de cambio (disminución) de la precipitación se espera al sur del estado de Veracruz (figura 8).

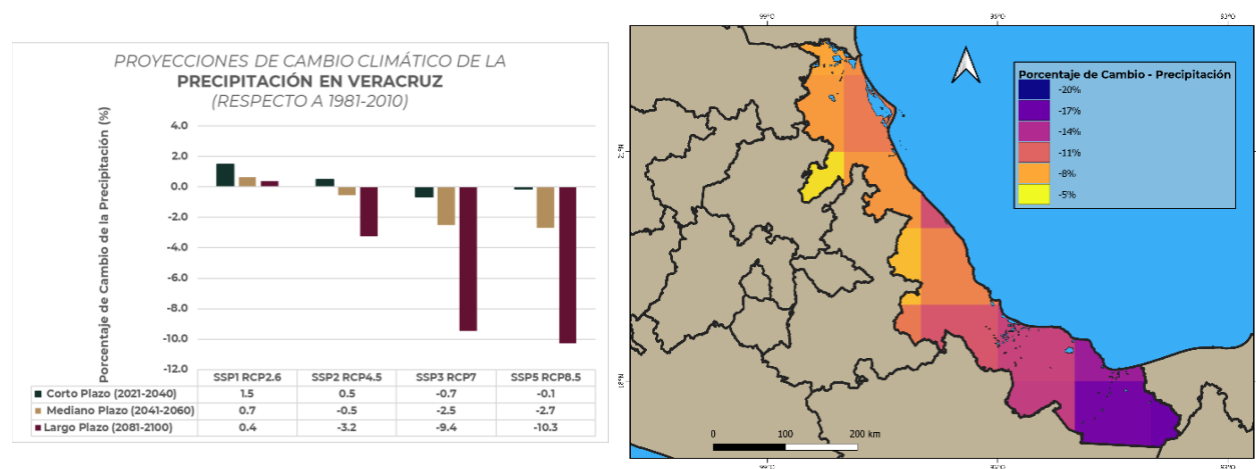


Figura 8. Proyecciones de cambio de la precipitación por periodos y zonas en el Estado de Veracruz (tomada de: https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/Proyecciones/img/30_Ficha.pdf).

En el caso de la zona de estudio, el cambio negativo esperado estaría del orden del 11%, lo que al igual que el resto del estado, tendría implicaciones en muy diversas cuestiones: disponibilidad, producción de alimentos, salud, etcétera.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La sequía es un fenómeno con implicaciones económicas, sociales, ambientales, etc. que afecta a un gran número de personas y que se registra aún en sitios lluviosos. El uso del índice SPI en localidades cercanas a San Marcos, permite inferir que en esta zona también se han registrado eventos de sequía de diferentes intensidades.

¹ <https://placcc.inecc.gob.mx>

² <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/index.html#zoom=undefined&lat=23.5000&lon=-101.9000&layers=1>

³ https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/Proyecciones/img/30_Ficha.pdf

Los manantiales son fuentes importantes de suministro de agua a la población y por ello requieren una mayor atención para entender su comportamiento hidrológico y la disponibilidad de agua que pueden proporcionar a la población.

Los resultados de los aforos resultan en valores muy bajos con relación a otros manantiales estudiados y en uso por la población, no obstante es necesario conocer la disponibilidad del recurso para hacer un uso adecuado del mismo. Como en muchas otras localidades, lo recomendable para poder hacer estudios de diagnóstico y análisis, es conveniente contar con información de diversa índole: climatológica, cambio de uso del suelo, hidrografía, etcétera. En particular, para mejorar este estudio, se recomienda aforar los manantiales en temporada de secas al menos, para tener una idea de la variación del flujo y determinar su viabilidad de uso.

Desde luego, los análisis como el aquí presentado adquieren mayor importancia cuando se relacionan con otros aspectos como son la calidad del agua, la población que se surte del líquido y la conservación de los manantiales por citar algunos.

VI. REFERENCIAS

- Guevara, J. M. 2019. El extraño caso de la fórmula polinómica del índice estandarizado de la precipitación, SPI. *Terra. Nueva Etapa*, vol. XXXV, núm. 57.
- INEGI, 2010. *Compendio de información geográfica municipal 2010 Xico*. 10 pp.
- Kennedy, A., Fragosa, F., Peña, E. y Moreno, J. E., 1992. *Manual de Aforos*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 139 pp.
- Martínez, J.L. 2017. *Presentación*. En José Luis Martínez Ruiz, Daniel Murillo Licea y Luisa Paré (Coordinadores), *Conflictos por el Agua y Alternativas en los Territorios indígenas de México*, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 317 pp.
- Menchaca, S., Calva, A., Jiménez, G. D. y Juárez, S. F. 2023. Disponibilidad hídrica del manantial "Ojo de Agua" ubicado en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz. *UVSerra* 14.
- Mosiño, P. y García, E., 1974. The Climate of México. En *World Sourvey of Climatology*. Vol 11, p 345-390.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2012. *Índice normalizado de precipitación Guía del usuario*. Ginebra, Suiza.15 pp.
- Ortega-Gaucin, D., y Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2): 78-90. Recuperado de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/06/Aspectos_socioeconomicos_y_ambientales_de_las_sequias_en_Mexico.pdf.
- Ortega-Gaucin, D. 2018. Medidas para afrontar la sequía en México: Una visión retrospectiva. *Revista Col. San Luis*. Vol. 8 no.15 ene/abr. 77-105. San Luis Potosí, México.
- Ortega-Gaucin, D., De la Cruz Bartolón, J. y. Castellano, H. V. 2018. Drought Vulnerability Indices in Mexico. *Water* 10.
- Pereyra D. y Sánchez, B. 1995. Sequías prolongadas y déficit hídrico en el Estado de Veracruz. En *Tejeda, A., Mora, I. y Jáuregui, E. Riesgos por fenómenos naturales en el Estado de Veracruz, México. La Ciencia y el Hombre*, 7, 21. *Universidad de Veracruzana, sept.-dic.* 153-167.
- Salas-Martínez, F.; Valdés-Rodríguez, O.A.; Palacios-Wassenaar, O.M.; Márquez-Grajales, A. 2021. Analysis of the Evolution of Drought through SPI and Its Relationship with the Agricultural Sector in the Central Zone of the State of Veracruz, Mexico. *Agronomy* 11, 2099. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112099>
- Villagómez, Y. (Coordinador), I. Amoroz y E. Gómez (2013). *Los Recursos Hídricos en las Regiones Indígenas de México*. El Colegio de Michoacán, AC. 121 pp.

- Welsh, C. M., Ochoa, C. A. y Olan, A. (2022). Sequía en Veracruz: impactos económicos preludio de un desastre futuro. *Memorias del XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC): Retos del Cambio Climático: impactos, mitigación y adaptación*. 709-720 pp.
- Wilhite, D. A. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. En D. A. Wilhite (ed.). *Drought: A Global Assessment*. Vol. I (pp. 3-18). Nueva York, Estados Unidos: Routledge.
- WMO (World Meteorological Organization) (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: Conceptos, progresos y desafíos futuros*. Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization. Recuperado de http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf