

El riesgo ante la sequía meteorológica en México

Meteorological Drought Risk in Mexico

Víctor Magaña,* Baldemar Méndez,** Carolina Neri*** y Gustavo Vázquez****

“...el mejor momento para actuar contra la sequía es cuando no la hay...”

* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), victormr@unam.mx

** Universidad de Sonora, baldemar.ma@gmail.com

*** UNAM, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, caro.neri@gmail.com

**** UNAM, gvc@unam.mx

Nota: el presente trabajo se desarrolló con el apoyo financiero del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI, proyecto 209932: *Una metodología para generar información de sequía meteorológica, agropecuaria e hídrica*; el apoyo técnico del maestro en Geografía Luis Manuel Galván y de la ingeniera en Recursos Naturales Renovables Tania Pérez es altamente apreciado, así como el del señor Álvaro Morales, por el procesamiento de datos básicos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON); los comentarios al trabajo de la maestra en Ciencias Ambientales Nuria Vargas constituyeron una valiosa aportación al trabajo; agradecemos también el apoyo brindado por los ingenieros Felipe Arreguín y Mario López para la realización de este trabajo.

Cardón cacti (Pachycereus pringlei) at the Bahía Concepción in Loreto, Baja California Sur, Mexico, North America /Horst Mahr/Getty Images



La sequía meteorológica, es decir, la condición climática en la que las lluvias acumuladas en una estación o en años están significativamente por debajo de lo normal, constituye uno de los mayores peligros climáticos para México. Con frecuencia, el problema de los impactos de la sequía meteorológica se aborda desde un punto de vista naturalista, en el que la magnitud del desastre es consecuencia directa de la intensidad del fenómeno natural, sin tomar en cuenta el contexto de vulnerabilidad en que ocurre. No existe una metodología aceptada de forma universal para cuantificarla y, por ello, el presente trabajo propone un método de caracterización del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo que explique algunas características de la sequía agrícola e hidrológica. La identificación de los factores que hacen a un sector o a una región vulnerable a la sequía meteorológica permite también definir las acciones que reduzcan la magnitud del desastre, por lo que su uso puede convertirse en un paso útil para hacer gestión de riesgo o adaptación al cambio climático.

Palabras clave: sequía; vulnerabilidad climática; riesgo climático.

Meteorological drought, that is, the climatic condition in which the accumulated rains in a season (or in years) are significantly below normal, constitutes one of the greatest climatic hazards for Mexico. Frequently, the problem of the impacts of meteorological drought is analyzed with a naturalistic focus, where the magnitude of the disaster is a direct consequence of the intensity of the natural phenomenon, without considering the context of vulnerability in which it occurs. There is no universally accepted methodology to quantify it. Therefore, the present work proposes a method to characterize the hazard, vulnerability, and risk to explain some characteristics of agricultural and hydrological droughts. The identification of the factors that make a sector or region vulnerable to meteorological drought also allows defining actions that reduce the magnitude of a climatic disaster, so that its use can become a useful step to do risk assessment and management, or even adaptation to change climate.

Key words: drought; climatic vulnerability; climatic risk.

Recibido: 3 de mayo de 2017.

Aceptado: 15 de junio de 2017.

El concepto de sequía desde la perspectiva de riesgo

El manejo de los recursos hídricos es un gran reto en un mundo de cambios globales. El crecimiento de la demanda de agua, su contaminación, un clima cambiante y las alteraciones en los ecosistemas que regulan el ciclo hidrológico son algunos de los factores que han llevado a una crisis hídrica a nivel mundial. Es en este contexto que la sequía meteorológica (entendida como la condición en que las lluvias acumuladas en una estación o en un periodo más largo están significativamente por debajo de lo normal) se vuelve un peligro climático que puede tener grandes costos sociales, ambientales y económicos. A pesar de ello, en la mayor parte del mundo solo se atienden los impactos, más que prevenirlos. Así, la sequía meteorológica resulta, con frecuencia, en desastre, es decir, en sequía agrícola, hidrológica o socioeconómica (Wilhite y Glantz, 1985).

En México, las sequías meteorológicas ocurridas entre el 2000 y el 2002 y entre el 2011 y el 2013 se convirtieron en grandes desastres económicos y ambientales (Neri y Magaña, 2016). La alta vulnerabilidad del país ante dichas condiciones climáticas se debe, entre otras cosas, a que muchos aun consideran que la sequía meteorológica es impredecible por lo que solo queda responder ante la ocurrencia de un evento de este tipo, dominando así el paradigma naturalista en el que los desastres se explican nada más por la ocurrencia del fenómeno natural; en otras palabras, no se analiza el riesgo ante el evento considerando la vulnerabilidad del sistema sino únicamente el peligro y su relación con los impactos. Analizando el problema desde una perspectiva de riesgo, es posible identificar los factores que lo generan y así prepararse para evitar, o al menos disminuir, la magnitud del impacto. Las acciones antes, durante y después del fenómeno parten de reconocer y reducir los factores de vulnerabilidad más importantes.

Algunos pasos para gestionar el riesgo ante la sequía meteorológica en México se dieron con el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Una de las acciones propuestas en el PRONACOSE fue mejorar el monitoreo de la sequía y sus impactos con el fin de establecer esquemas de prevención o mitigación. Pero dicha iniciativa requirió cambiar la forma tradicional en la que se analizaba el tema para pasar a una perspectiva de riesgo reconociendo, en primer término, que el peligro natural es la sequía meteorológica y que las sequías agrícola, hidrológica y socioeconómica corresponden a los impactos, las cuales dependen también del contexto de vulnerabilidad en que la falta de lluvias ocurre. En este trabajo se presenta una propuesta metodológica de monitoreo de las sequías que tome en cuenta no solo las características del peligro climático y de los impactos, sino también las de la vulnerabilidad y, por lo tanto, del riesgo como modulador de la magnitud de los impactos.

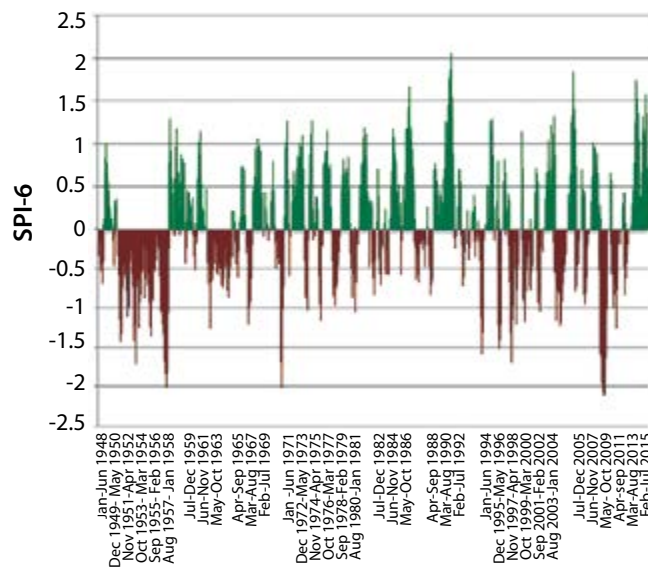
El peligro de sequía meteorológica

Los avances en el conocimiento de la variabilidad del clima regional han llevado a proponer esquemas de monitoreo de la sequía meteorológica y sus causas (e. g. Hayes *et al.*, 2011). En México, como en otras partes del mundo, este peligro aumenta cuando las anomalías en la temperatura de la superficie del mar generan cambios en las circulaciones atmosféricas; por ejemplo, la llamada Oscilación Multidecadal del Atlántico en su fase positiva, en conjunto con la Oscilación Decadal del Pacífico (Talley *et al.*, 2011) en su fase negativa, genera peligro de sequía meteorológica prolongada en el norte de México (Méndez y Magaña, 2010) al intensificar la subsidencia y modificar los flujos de humedad. También, cuando se presenta la condición *El Niño* en el verano, las probabilidades de una sequía estacional en el centro-sur de México aumentan (Magaña, 1999). Por lo anterior, hay predecibilidad de este fenómeno en México a escala regional y, con ello, aumentan las posibilidades de actuar de manera preventiva. Así, resulta importante mantener un monitoreo tanto de los déficits de lluvia o las anomalías de la temperatura del aire como de las condiciones oceánicas de temperatura de la superficie del mar y de las circulaciones atmosféricas que resultan en sequía meteorológica (Magaña, 2016).

La magnitud de la sequía meteorológica se puede dar de diversas maneras. La más común es a partir de las anomalías negativas de precipitación. Una forma de referirse a dichos déficits de lluvia es en términos de desviaciones estándar con respecto a la media esperada. El índice estandarizado de precipitación¹ (SPI, por sus siglas en inglés) hace referencia a desviaciones estándar en la lluvia acumulada por periodos de uno a varios meses (McKee *et al.*, 1993); brinda información sobre la persistencia de la sequía dependiendo de la escala temporal para la que se calcule: 1, 3, 6, 12 ó 24 meses. Si la lluvia en una estación o año en particular está una o dos desviaciones estándar por debajo de la media, se considera un SPI de -1 o de -2, respectivamente. El SPI-6 (de seis meses) es útil cuando se trata de caracterizar el peligro para el sector agrícola. La sequía del 2011 en el norte de México alcanzó un SPI-6 menor a -2 (muy seco), por ejemplo, en zonas boscosas de Coahuila de Zaragoza, donde diversas acciones humanas ocasionaron incendios forestales (ver gráfica 1).

Otros índices para describir la sequía meteorológica hacen referencia a la temperatura, radiación o evapotranspiración con el fin de diagnosticar los posibles impactos en la agricultura o los ecosistemas. Sin embargo, para hablar de impactos, es mejor considerar el riesgo ante este fenómeno, pues también de la vulnerabilidad dependerán las características de la sequía agrícola o hidrológica.

Gráfica 1
SPI-6 en el norte de México entre 1948 y el 2015



1 El rango de SPI va de -3 (extremadamente seco) a +3 (extremadamente húmedo).

Vulnerabilidad y riesgo ante la sequía meteorológica

La vulnerabilidad da una idea de la condición de las personas, sistemas económicos o ecosistemas de ser potencialmente afectados por algún factor externo; por lo tanto, su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo de desastre. Para estimar el impacto que un clima adverso puede tener sobre un sistema, es necesario cuantificarlo. Desafortunadamente, no es sencillo establecer una medida de vulnerabilidad climática, pues no existe una metodología aceptada de manera universal para este fin. En el caso de la sequía meteorológica se debe reconocer que la crisis hídrica mundial genera una mayor vulnerabilidad ante un déficit de lluvias.

Una propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía meteorológica parte de un modelo conceptual que relaciona factores físicos, sociales, económicos y ambientales que modulan el impacto de una anomalía negativa en las lluvias estacionales (Neri y Magaña, 2016), elementos que pueden representarse por un indicador que cambia con el tiempo; por ejemplo, el grado de presión sobre el recurso hídrico hace más o menos vulnerable a un sistema ante la sequía meteorológica; lo mismo se puede decir de otros factores que hacen a un sistema más o menos vulnerable ante este fenómeno (ver cuadro).

Los datos de los indicadores del cuadro para el periodo 2002 al 2015 se pueden obtener de información que cada año publican la CONAGUA, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) u organismos internacionales, como el Banco Mundial. Los valores normalizados de los indicadores (por ejemplo entre 0 y 1) permiten comparar su importancia cuando se construye un solo índice de vulnerabilidad; en la evaluación de ella es importante considerar la historia reciente de cada indicador para saber con qué velocidad cambia, pues ésta habla de su flexibilidad o de su robustez en el tiempo; por ejemplo, la condición de un acuífero cambia de forma lenta por lo que se convierte en un factor de vulnerabilidad robusto. Por otro lado, las medidas de emergencia ante la sequía (como reducir el abasto de agua) pueden tener un efecto inmediato, pero difícilmente se mantienen por periodos prolongados, por lo que se considera un factor flexible.

Las medidas que reducen factores robustos de vulnerabilidad por lo general corresponden a acciones de fondo o estructurales (e. g., programas de cultura del agua, restauración de cuencas, infraestructura hidráulica), mientras que las emergentes o coyunturales actúan en esencia sobre los factores flexibles. Estas últimas corresponden, por ejemplo, a los sistemas de alerta temprana (SIAT), en los que se ejecutan acciones previamente acordadas de acuerdo con el riesgo que enfrente una región, sector o grupo social, conforme evoluciona la sequía meteorológica. La valoración temporal de la vulnerabilidad para cada una de las regiones hidrológicas administrativas (RHA) del país (ver mapa 1) permite establecer dónde es mayor el riesgo ante una sequía meteorológica. Usando los indicadores del cuadro, se establece que en la RHA XIII Valle de México, la vulnerabilidad es alta, con un índice promedio de 0.72 (ver gráfica 2) debido, sobre todo, al grado de presión sobre el recurso agua. Pero dado que las sequías meteorológicas (el peligro) son por lo general menos severas que en la RHA II, por ejemplo, el riesgo de sequía hidrológica o agrícola es mayor en Sonora. Cabe mencionar que bajo esta métrica, en casi todas las RHA del país la vulnerabilidad ha disminuido gracias a algunas acciones de tratamiento y reuso de agua, aunque continúa siendo alta.

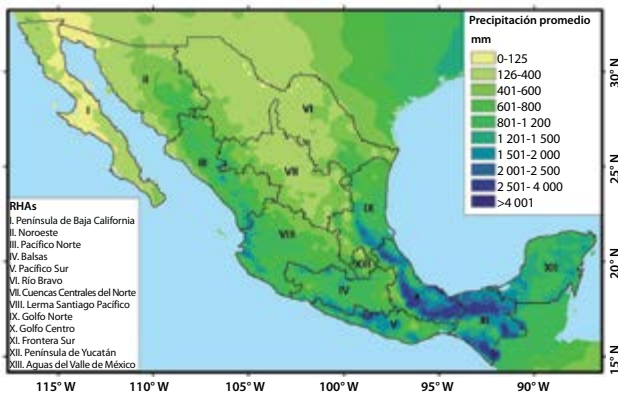
Cuadro

Indicadores de vulnerabilidad ante sequía meteorológica

Indicador	Definición
Grado de presión sobre el recurso hídrico	Proporción del agua empleada en usos consuntivos con respecto a la disponible
Contaminación de fuentes de agua	Porcentaje de acuíferos sobreexplotados y con problemas de contaminación o intrusión salina
Capacidad de tratamiento de aguas y uso	Proporción de agua residual municipal tratada, en comparación con el volumen usado para abastecimiento público urbano
Tarifa de consumo de agua	Tarifas de agua potable en ciudades (representativas por región hidrológica administrativa) comparadas con un precio de referencia por m ³
Productividad agrícola del agua	Productividad agrícola en relación con el agua utilizada para riego (m ³)
Capacidad de almacenamiento de presas y niveles existentes medios	Almacenamiento de agua en infraestructura hidráulica con respecto a la capacidad de almacenamiento

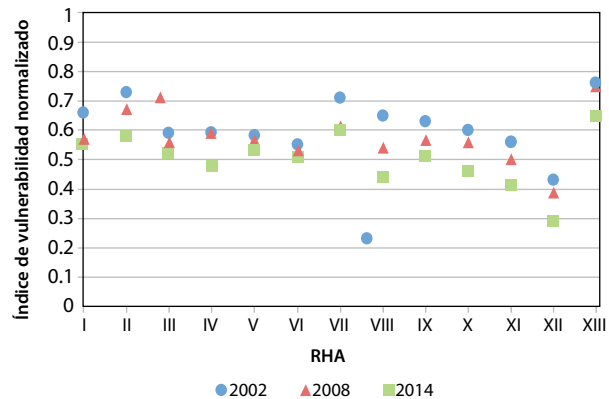
Mapa 1

Regiones hidrológicas administrativas (RHA) de la CONAGUA y precipitación promedio anual (mm)



Gráfica 2

Índice de vulnerabilidad ante sequías meteorológicas en cada RHA en el 2002, 2008 y 2014



Nota: adaptado de Neri y Magaña, 2016.

El seguimiento de las condiciones de riesgo ante sequía meteorológica se puede realizar a través del monitoreo de la lluvia y de la vulnerabilidad, evaluando el contexto socioeconómico y ambiental en que ocurren los impactos, es decir, la sequía agrícola o hidrológica. En el caso de la primera es común referirse a las áreas de cultivo siniestradas, al estrés hídrico de la vegetación o a los cambios en la productividad, mientras que en el segundo se trata de la disponibilidad de agua en ríos o lagos, acuíferos o presas. Tanto en el caso de los peligros como en el de los impactos se cuenta con mediciones, mientras que para la vulnerabilidad solo se hacen estimaciones, por ello, el riesgo es estimado, a pesar de lo cual debe explicar en buena medida las características espaciales y temporales de los impactos.

Sequía agrícola

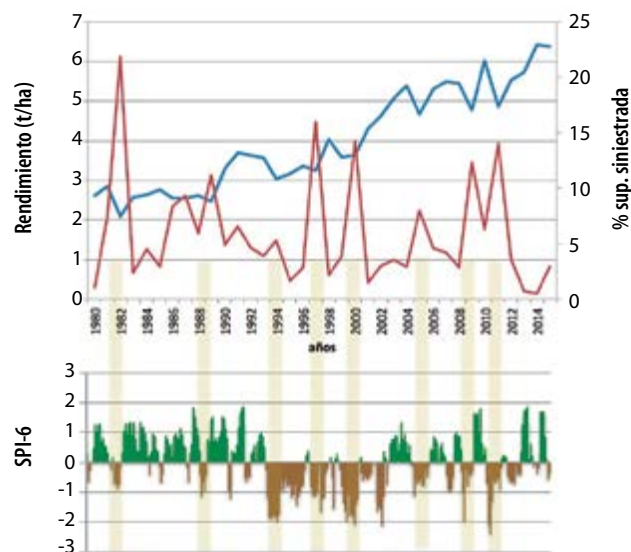
Una sequía meteorológica impacta a la agricultura cuando el agua disponible es insuficiente para producir. En la RHA I, por ejemplo, la precipitación media anual es de 165 mm, lo cual la convierte en una zona árida. Esta cantidad de lluvia resulta en una disponibilidad promedio de agua de 4 625 hm³/año, aproximadamente. El volumen concesionado en el 2010 se estimó en 3 733 hm³, por lo que una disminución de la lluvia alrededor de 19% o más (precipitación anual acumulada de 130 mm o menos) reduciría la disponibilidad de agua a un nivel crítico bajo las condiciones de demanda o grado de presión actual (vulnerabilidad), lo que llevaría a una sequía agrícola. La probabilidad de que esta condición (que puede considerarse sequía meteorológica) se presente en un año en particular para la RHA I es de 36%, por lo que el peligro es grande.

Otras RHA del norte también enfrentan un peligro de sequía y un riesgo alto, ya que en la mayoría de ellas la disponibilidad de agua es cercana a los volúmenes concesionados. Para mantener actividades agropecuarias, aun con sequía meteorológica, se recurre con frecuencia a la sobreexplotación de acuíferos, lo cual termina por aumentar la vulnerabilidad. En las RHA del centro-sur de México, el agua disponible es, en general, suficiente, pero las prácticas de manejo (vulnerabilidad) llevan a niveles de riesgo altos. Los impactos a consecuencia de las sequías meteorológicas en estas RHA están relacionados frecuentemente con problemas de distribución del recurso hídrico. En la RHA XIII, por ejemplo, se requiere de los aportes de agua de otras cuencas, pues el volumen concesionado supera el agua disponible, razón por la que esta zona está en riesgo alto de ser afectada por la sequía.

La sequía meteorológica explica con frecuencia el porqué la productividad agrícola es baja y la siniestralidad en los cultivos, en ciertos años, alta; pero establecer una relación funcional lineal entre sequía meteorológica y siniestralidad en el sector agrícola no es adecuado, pues se requiere incluir el factor modulador de baja frecuencia que determina la magnitud del impacto, es decir, la vulnerabilidad. Un modelo de riesgo de sequía agrícola debe, por supuesto, incluir un indicador de déficit de lluvia (e. g., el SPI-6), pero también debe considerar factores de vulnerabilidad, como la productividad agrícola. La función de riesgo de sequía agrícola se puede construir a través de un esquema de regresión por pasos entre impactos (productividad agrícola o siniestralidad), peligro (SPI) y factores de vulnerabilidad (ver cuadro). Aquellos factores que expliquen la mayor cantidad de varianza tendrán mayor peso. Al final, se puede tener una función de riesgo de sequía agrícola, multifactorial para cada RHA o cada estado del país.

Gráfica 3

Agricultura maíz grano de temporal primavera-verano en Jalisco y SPI-6 para el occidente de México



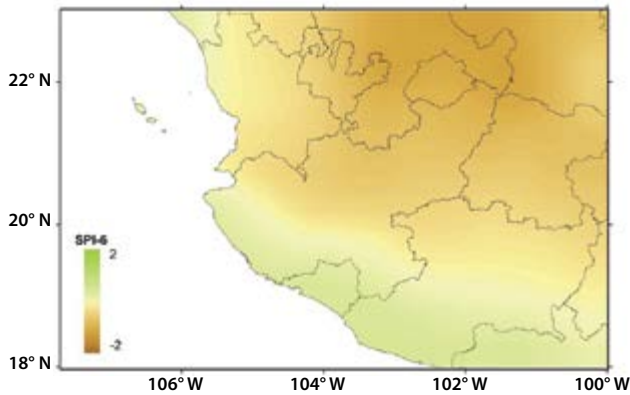
Nota: rendimiento (t/ha) de maíz grano de temporal (línea azul) en el ciclo primavera-verano, así como superficie siniestrada, i. e., porcentaje de hectáreas afectadas por eventos climáticos (línea roja), para Jalisco; las barras corresponden a períodos de sequía entre 1980 y el 2015 con impacto en la agricultura del estado.

Fuente: SIACON-SAGARPA.

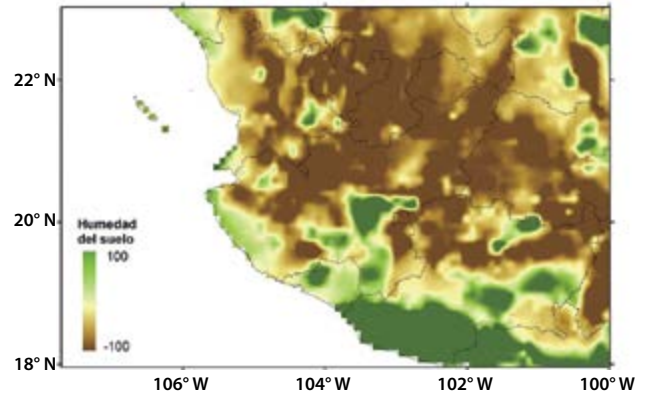
En el caso de Jalisco, la producción de maíz grano de temporal ha aumentado en décadas recientes, mientras que la siniestralidad ha disminuido (ver gráfica 3). La mayoría de los años que corresponden a alta siniestralidad o disminución en la productividad son de sequías meteorológicas asociadas a condiciones de *El Niño* durante el verano. Sin embargo, en el largo plazo, existe una tendencia a la baja de la superficie siniestrada por la sequía meteorológica, mientras que la productividad es cada vez mayor. La clave está en que el sector es cada vez menos vulnerable.

El riesgo ante la sequía meteorológica para la zona occidente de México (RHA VIII Lerma Santiago) ha disminuido, y un factor que determinó esto son los apoyos que se otorgan a los productores. A pesar de ello, las sequías aún ocasionan desastres en el sector agrícola; en el 2011 ocurrió el más reciente, cuando el SPI-6 llegó a -3 hacia el centro-norte de México, alcanzando las regiones agrícolas de Jalisco con SPI = -2 (ver mapa 2a). El déficit de humedad de suelo (ver mapa 2b) impactó la salud de la vegetación (ver mapa 2c), sobre todo en las zonas de agricultura de temporal (ver mapa 2d), entre los municipios de la región centro del estado de Jalisco, principalmente Ixtlahuacán del Río, Cuquío y Tepatitlán.

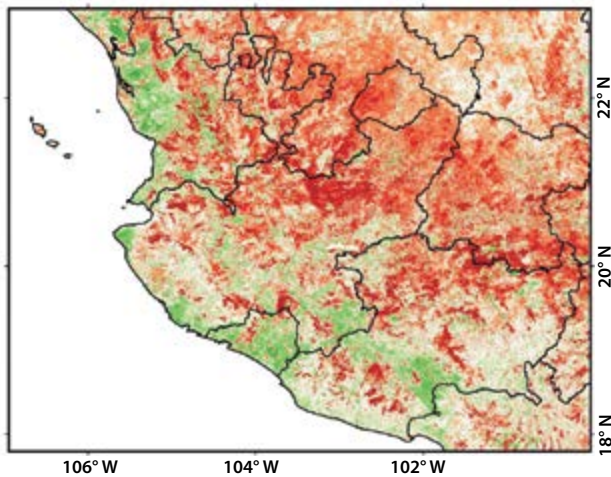
a. Índice SPI-6 para abr.- sept. del 2011 en el occidente de México



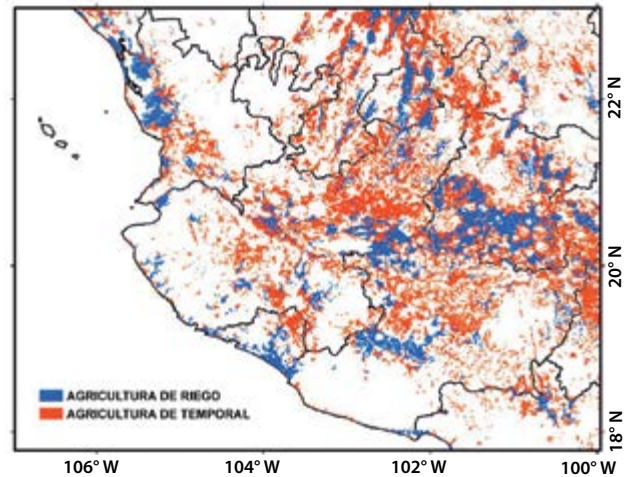
b. Anomalía de humedad de suelo (mm) en junio del 2011



c. Anomalía de NDVI para el periodo 26 de jun. al 11 de jul. de 2011



d. Regiones donde se practica agricultura

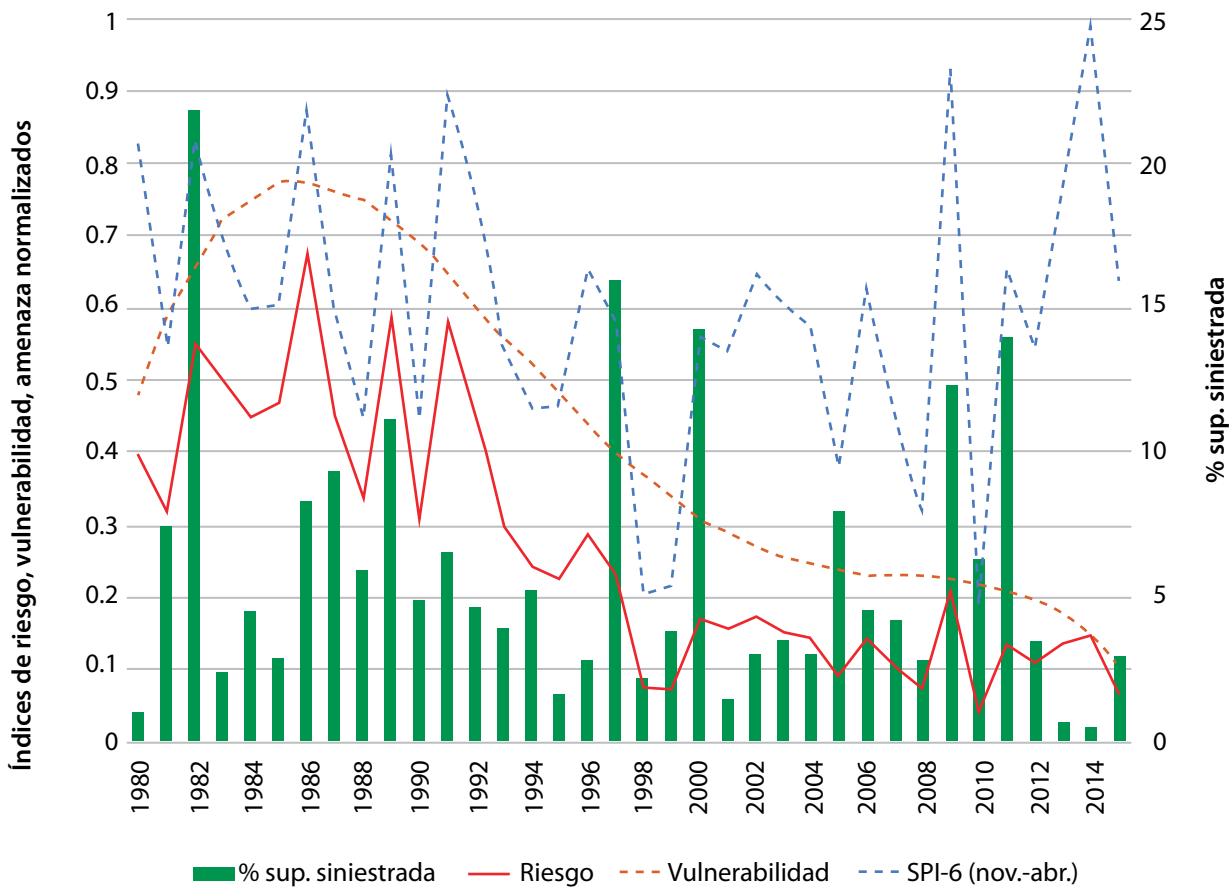


Bajo tal perspectiva, es posible establecer, aun con un patrón de peligro de baja resolución espacial (ver mapa 2a), las regiones agrícolas en riesgo ante la sequía meteorológica tomando en cuenta tanto el nivel de exposición (ver mapa 2d) como el grado de vulnerabilidad del cultivo en cuestión.

Un modelo de riesgo de sequía agrícola debe tomar en cuenta factores de vulnerabilidad económica, por ejemplo, aquéllos relacionados con el ingreso per cápita y la inflación, los cuales actúan también como moduladores de baja frecuencia de la magnitud del impacto. Solo eventos de sequía meteorológica de gran intensidad (como los del 2009 y el 2011) llevan el riesgo a niveles críticos e impactos importantes, aunque sin alcanzar la magnitud de los desastres de la década de los 80, cuando la vulnerabilidad era mucho mayor (ver gráfica 4). Es claro que la vulnerabilidad depende de diferentes factores físicos y ambientales, pero el contexto económico es primordial en las estimaciones de riesgo de sequía agrícola.

Gráfica 4

Modelo de riesgo de sequía agrícola de cultivo de maíz grano en el estado de Jalisco entre 1980 y el 2015 considerando factores de vulnerabilidad, como el PIB per cápita y la inflación nacionales



Fuente: Banco Mundial. <http://datos.bancomundial.org>

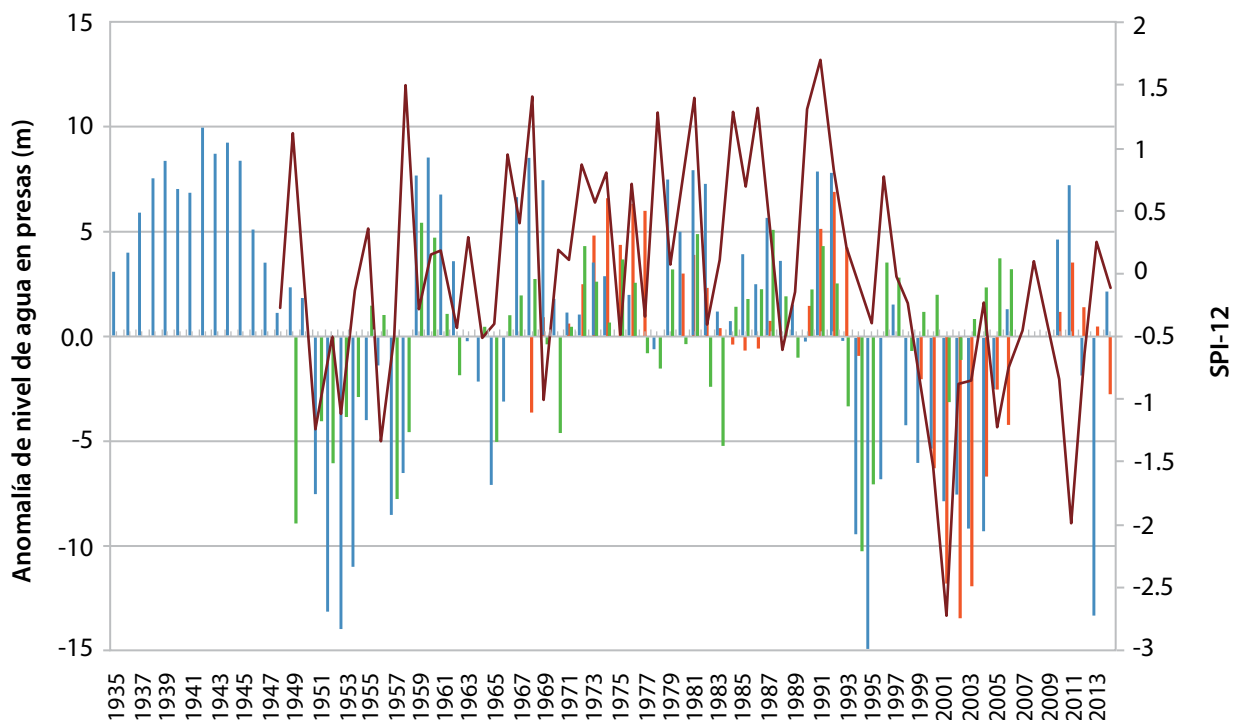
Por ello, hablar de sequía agrícola futura depende no solo de escenarios de sequía meteorológica sino, también —y quizá en mayor medida—, del contexto socioeconómico dominante. La adaptación al cambio climático dependerá de él como modulador del riesgo.

Sequía hidrológica

Las anomalías negativas en la disponibilidad de agua superficial o subterránea pueden considerarse como señales de una sequía hidrológica. Por lo general, ésta se detecta a través de diversos indicadores relacionados con la disponibilidad, como: los déficits en escurrimiento o en los niveles de lagos, embalses o acuíferos, así como en los caudales de los ríos, los cuales se deben, con frecuencia, a sequías meteorológicas; pero, también, al manejo inadecuado del recurso, lo que exagera la magnitud de la sequía hidrológica. Algunas semanas o meses después de presentarse un déficit significativo de lluvia (sequía meteorológica), los sistemas hidrológicos de superficie disminuyen la cantidad de agua que almacenan, dependiendo de las características físicas del sistema, así como del uso que se haga del agua. El retraso en la señal de sequía hidrológica con respecto de la meteorológica es mayor cuando se trata de aguas subterráneas.

Gráfica 5

Acoplamiento entre precipitación y disponibilidad de agua en Chihuahua



Anomalías en los niveles (m) de las presas La Boquilla (barras azules), Las Vírgenes (barras verdes) y el Granero (barras naranja), así como SPI-12 (línea roja) en Chihuahua.
Fuente: CONAGUA.

Para estimar el impacto de la sequía meteorológica, es posible usar el registro de almacenamiento de agua en presas y analizar la relación lluvias y niveles promedio en los cuerpos de agua. En Chihuahua, por ejemplo, se observa que las variaciones de baja frecuencia en la precipitación anual son coherentes con las que se presentan en los niveles de las presas (ver gráfica 5). Este acoplamiento entre precipitación y disponibilidad muestra la relación entre sequías meteorológicas e hidrológicas en gran parte del norte de México a finales de la década de los 40 y principios de la de los 50.

En décadas recientes, sin embargo, el factor manejo del agua es clave para entender una sequía hidrológica; un ejemplo fue en el periodo 2000-2002, cuando la sequía hidrológica no permitió cumplir con los tratados binacionales de agua con los Estados Unidos de América, pues la sequía meteorológica ($SPI-12 < -2.5$) generó severos déficits de agua superficial en la región. Previo a tal situación, ya se tenían niveles de agua menores a lo esperado en algunas presas de Chihuahua, aun cuando no existía un déficit de lluvia antecedente. La sequía meteorológica del 2011-2012, sin embargo, bajo un esquema de manejo diferente, no generó déficit en los niveles de las presas.

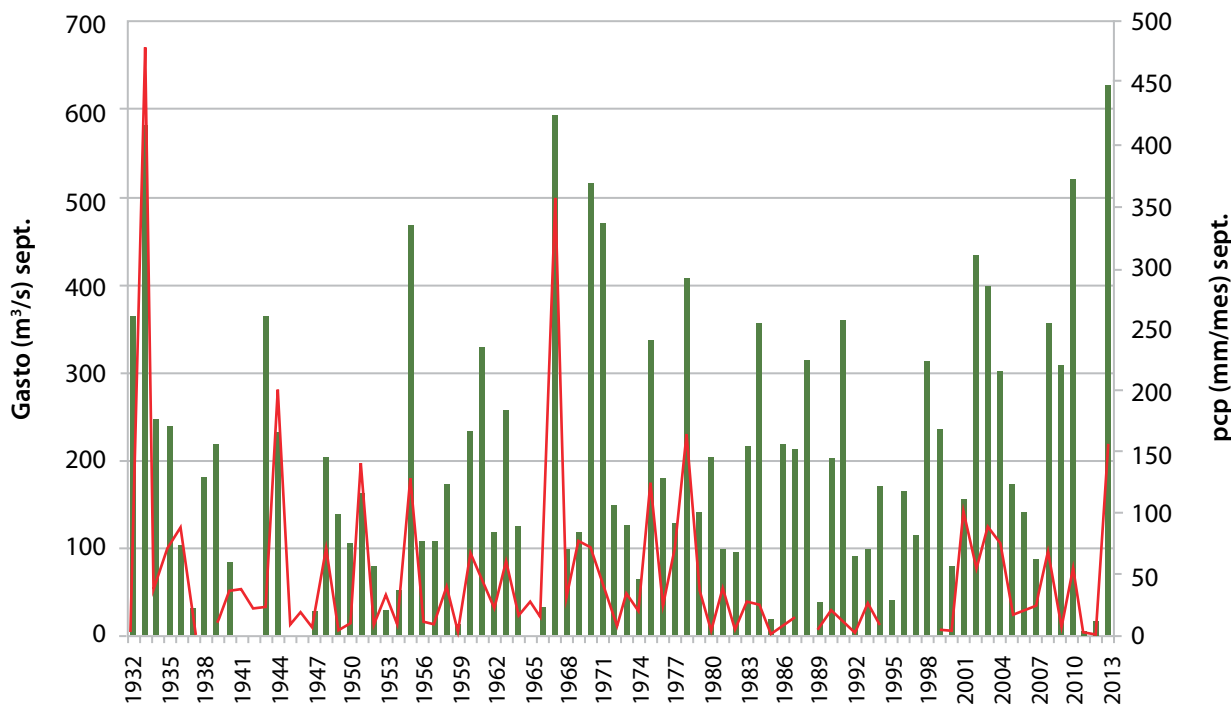
En ciertas regiones, la sobreexplotación del recurso agua o su manejo sin planeación puede llevar a disminuciones en los escurrimientos y caudales e, incluso, resultar en sequías hidrológicas. Tal es el caso del río San Fernando, en Tamaulipas, después de la década de los 80. A pesar de no observarse una señal de tendencia a la disminución en las lluvias anuales en ese periodo, como sucedió en las décadas de los 40 y 50, los datos de gasto existentes indican que se llegó con frecuencia a escurrimientos muy por debajo de la media y cercanos a cero en condiciones de sequía (ver gráfica 6). El contexto de crisis por alta vulnerabilidad estuvo asociada a problemas en el manejo de agua (Jiménez *et al.*, 2010).

La falta de infraestructura hidráulica, la contaminación de cuerpos de agua y la baja productividad agrícola del agua llevan a sobreexplotación del recurso, lo que hace vulnerables a la sequía meteorológica a regiones como la de San Fernando, como sucedió en el ciclo 2011-2012, cuando se presentó una sequía hidrológica severa. Incluso con episodios de lluvia intensa, por lo general asociados a la entrada de ciclones tropicales con precipitaciones mensuales de más de 400 mm en septiembre, los caudales en el río San Fernando fueron cada vez menores.

Cambios en la condición de la cuenca o en el manejo del agua modulan las tendencias a largo plazo del ciclo hidrológico. De esta forma, la sequía hidrológica se debe analizar por el déficit en los niveles de los cuerpos de agua o los caudales, entendiendo que su magnitud no es solo cuestión de sequía meteorológica, sino de los esquemas de manejo del recurso hídrico.

Gráfica 6

Caudales (m^3/s) y precipitación acumulada (mm/mes) en septiembre en el río San Fernando, en Tamaulipas, 1932-2013



Gasto medio (m^3/s) en septiembre (línea naranja) y precipitación acumulada en septiembre (barra verde) en la estación San Fernando, en Tamaulipas, entre 1932 y el 2013.

Propuesta de monitoreo de la sequía

Los elementos analizados hasta ahora diferencian la sequía meteorológica de la agrícola, la hidrológica o la socioeconómica esencialmente en que las tres últimas contienen una componente de manejo de agua que está determinada por factores socioeconómicos y ambientales. Así, mientras que la primera se refiere en esencia a mantener un monitoreo de los datos de precipitación expresados como anomalías de lluvia con respecto a lo esperado, en el caso de las otras se debe contemplar el contexto de manejo, disponibilidad y demanda para tener una mejor idea del riesgo (magnitud y duración).

Para dar una descripción del contexto que hace a una región sector o grupo social vulnerable, se debe describir con periodicidad mensual o estacional la disponibilidad de agua, las demandas esperadas y las acciones que se pueden implementar en caso de presentarse la sequía. Esta filosofía de trabajo es parte de los desarrollos del PRONACOSE, pero debe resultar en escenarios bajo los cuales se determine el nivel de riesgo de sequía agrícola o social. Es necesario, por lo tanto, mantener un monitoreo de forma estructural de los factores de vulnerabilidad ante la sequía meteorológica y mostrar cada año cómo se avanza para reducirlos. De esta manera, al presentarse una sequía se sabrá cuál es el riesgo y los posibles efectos de aplicar medidas preventivas o de respuesta como las contempladas en los sistemas de alerta temprana.

El monitoreo de la sequía meteorológica se realiza evaluando el riesgo con el factor peligro, el cual provee información cuantitativa de qué tan preparados se encuentran sectores o regiones ante un déficit prolongado de lluvia en un marco de crisis hídrica, es decir, cuantificando año con año el riesgo ante déficits prolongados de lluvia a nivel RHA para conocer cómo se avanza en reducir los elementos que hacen vulnerable a una región (ver cuadro). De manera similar, al presentarse una sequía y contarse con predicciones climáticas estacionales, se puede evaluar el riesgo estacional con información de amenaza de cómo se espera se presente la sequía para definir el nivel de respuesta dentro de un SIAT, como se contempla en el PRONACOSE. La interacción entre instituciones como la CONAGUA, el INEGI y la SAGARPA resulta fundamental para disponer de datos necesarios con el fin de estimar el riesgo climático y definir formas de aplicar las políticas públicas frente a la sequía.

Conclusiones

Antes del PRONACOSE, la gestión oficial para la reducción del riesgo ante sequías meteorológicas en México parecía no ser un tema prioritario. La práctica común era pagar por los daños ocasionados por dicha condición climática, considerando que se trataba de un fenómeno impredecible ante el cual poco se podía hacer. Pero, poco a poco, se ha reconocido que los costos de las acciones preventivas siempre han sido menores que los de la recuperación del desastre; se intenta abandonar el paradigma naturalista e iniciar trabajos de gestión de riesgo ante sequía meteorológica. Hacer prevención requiere saber a qué se es vulnerable con el fin de diseñar acciones cuantificables que reduzcan el riesgo de sequía agrícola o hidrológica, por ejemplo. En varios casos, es necesario trabajar con eficiencia en el uso del agua tanto en el sector agropecuario como en el urbano, ya que son los principales consumidores de este recurso (76.3 y 14.6%, respectivamente). Un sector no considerado por las estadísticas de la CONAGUA es el de los sistemas ecológicos, cuya impor-

tancia para el país debe destacarse por los servicios que de ellos recibimos; considerarlos en el problema general de gestión hídrica bajo sequía resulta prioritario.

Existen múltiples demandas de información sobre la sequía en escalas de tiempo estacional o interanual que incluyen la variabilidad climática en décadas y, por supuesto, en plazos más largos, como los relacionados con el cambio climático; pero basar las decisiones en tales proyecciones implica aceptar altos niveles de incertidumbre, por lo que una aproximación que parta de una estimación de la vulnerabilidad es más adecuada. Así, más que pensar en un pronóstico de muy largo plazo, se debe trabajar en medidas de fondo, robustas, como la implementación de programas de manejo hídrico, cuyo resultado en términos de reducción de vulnerabilidad sea cuantificable. También, el uso de la información climática por quienes toman decisiones es necesario, pero ello requiere mostrar que ésta tiene algún beneficio tangible o, por lo menos, uno potencial. Tal evidencia puede ser obtenida con algún estudio de caso relevante para un sector y región en particular.

A través de los sistemas de alerta temprana ante la sequía meteorológica se puede transitar de la respuesta al desastre a la prevención de los impactos en el corto plazo, cuando se presente o se espere una sequía en forma inminente. En este caso, el objetivo primordial del SIAT es generar información climática sobre la sequía y sus potenciales impactos que permitan diseñar estrategias de reducción de la vulnerabilidad ante dicho fenómeno con toma de decisiones oportunas (Neri, 2010).

La propuesta metodológica de estimación de vulnerabilidad y riesgo ante sequía meteorológica desarrollada en este trabajo contribuye a formular modelos de riesgo que, en combinación con el pronóstico climático estacional, permiten estimar los posibles impactos de una sequía y actuar en forma preventiva. Si la vulnerabilidad se proyecta, ya sea mediante el uso de su tendencia o considerando acciones estructurales para las próximas décadas, se puede tener una mejor idea de los impactos del cambio climático en el sector hidrológico o agrícola.

Fuentes

- Hayes, M.; M. Svoboda; N. Wall y M. Widhalm. *The Lincoln Declaration on Drought Indices. Universal Meteorological Drought Index Recommended*. American Meteorological Society, April 2011, 485-488.
- Jiménez, B.; M. L. Torregosa y L. Aboites. *El agua en México: cauces y encauces*. México, Academia Mexicana de Ciencias-CONAGUA, 2010, 702 pp.
- Magaña, V. *Los impactos de El Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Gobernación, 1999, 229 pp.
- _____. "Considerations for a Research Program on Drought in Mexico", en: *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. VII, núm. 5, septiembre-octubre. IMTA, 2016, pp. 115-133.
- McKee, T. B.; N. J. Doesken y J. Kleist. *The relationship of drought frequency and duration of time scales*. Anaheim, CA. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan. 17-23, 1993, pp.179-186.
- Méndez, M. y V. Magaña. "Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America", en: *J. Climate*. 23, 2010, pp. 1175-1188.
- Neri, C. *Elementos para un Sistema de Alerta Temprana ante Sequías*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, México, 2010, 105 pp.
- Neri, C. y V. Magaña. *Estimation of Vulnerability and Risk to Meteorological Drought in Mexico*. *Weather Clim. Soc.*, 8, 2016, 95-110.
- Talley L. D.; G. L. Pickard; W. J. Emery y J. H. Swift. *Descriptive Physical Oceanography. An Introduction*. Sixth Edition. Elsevier-Academic Press, 2011, 555 pp.
- Wilhite, D. A. y M. H. Glantz. *Understanding the Drought Phenomenon: The role of definitions*. Drought Mitigation Center Faculty Publications, 20, 1985 (DE) consultado en: <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/20>