

Sequías en Kansas: Tendencias climáticas a lo largo de 1,000 años

Anthony L. Layzell y Catherine S. Evans, Servicio Geológico de Kansas

Desde el punto de vista medioambiental y económico, la sequía es una de las catástrofes naturales más costosas de Norteamérica. Sin embargo, rara vez recibe la misma atención pública que otras catástrofes naturales más espectaculares. Mientras que los tornados, las inundaciones, los incendios forestales y los huracanes dejan tras de sí franjas bien definidas de devastación en relativamente poco tiempo, las sequías merman la calidad y cantidad del agua, la capa superficial del suelo, el rendimiento de los cultivos y otros recursos naturales y socioeconómicos durante meses y años, incluso décadas.

En cualquier año, se dan condiciones de sequía de algún grado en algún lugar de Norteamérica. En 1988, a mediados de una sequía de tres años en el centro y el este de los Estados Unidos, la estimación de los daños nacionales por sequía alcanzaron la cifra récord de 40,000 millones de dólares (Centro Nacional de Datos Climáticos, 2012), o 78,500 millones en dólares de 2013. En 2011, las pérdidas solo en Kansas superaron los 1,700 millones de dólares (Departamento de Agricultura de Kansas, 2011). Sin embargo, las sequías de los años 30 y 50 siguen siendo los puntos de referencia del siglo XX en cuanto a duración, gravedad y extensión espacial. Las tormentas de polvo sin precedentes históricos de los años 30, exacerbadas por la rápida difusión de prácticas agrícolas inadecuadas para las Altas Llanuras semiáridas, contribuyeron a hacer de la Dust Bowl la sequía más memorable de los tiempos modernos (fig. 1). Dos décadas después, 1956 superó a 1934 como el año de sequía más grave jamás documentado en todo el estado, según las lecturas instrumentales de precipitación y temperatura.

Sin embargo, las principales sequías del siglo XX, por impresionantes que fueran, no son las dos sequías más intensas o duraderas que han afectado a Kansas. Durante décadas, los científicos han estado recopilando y analizando datos para reconstruir paleoclimas



Figura 1. Desplazamiento de tierra arrastrada por el viento en una granja cerca de Liberal, Kansas, marzo de 1936 (foto de Arthur Rothstein: Biblioteca del Congreso).

- climas pasados que se remontan a miles de años atrás, a partir de indicios en anillos de árboles, sedimentos y otros indicadores. Resulta que varios episodios de sequía del pasado han superado a los de las décadas de 1930 y 1950 en gravedad, extensión y duración (Layzell, 2012). Si hoy se produjera una sequía semejante, la reducción de los recursos hídricos superficiales y subterráneos amenazaría el abastecimiento de agua municipal, industrial y agrícola, y provocaría la pérdida generalizada de cosechas.

Es vital poder prever y planificar mejor las condiciones de sequía grave. Los registros de temperatura y precipitación son indispensables para comprender el cambio climático, pero se limitan en gran medida a los últimos 100 años. Para evaluar toda la gama de la variabilidad de las sequías que se han producido a lo largo de 1,000 años o más, los climatólogos y otros científicos miden la gravedad de las sequías anteriores al siglo XX utilizando datos paleoclimáticos reconstruidos de indicadores y al analizar los resultados en combinación con más de un

siglo de datos instrumentales.

Medición de la sequía y el Índice Palmer de Gravedad de la Sequía (PDSI)

Se han desarrollado varios índices para medir la sequía. El Índice Palmer de Gravedad de la Sequía (PDSI), uno de los más utilizados en Norteamérica, se introdujo en 1965 y se utiliza para medir la gravedad de una sequía ocurrida durante un período determinado. Los valores PDSI pueden calcularse a partir de datos meteorológicos recopilados mediante termómetros, pluviómetros y otros instrumentos (disponibles aproximadamente desde 1895 para la mayor parte de Norteamérica) o a partir de datos paleoclimáticos reconstruidos a partir de anillos de árboles y otras pruebas indirectas.

Los valores PDSI, que representan la humedad y la sequedad relativas, se asignan después de registrar los datos de precipitación y temperatura o los datos indirectos, se analizan para determinar cuánta humedad del suelo había disponible en un momento concreto en comparación con la que

habría en condiciones promedio. Los valores suelen oscilar entre -4 (extremadamente seco) y 4 (extremadamente húmedo), aunque el rango es ilimitado. Aunque un valor PDSI de -4 o menos (aún más extremo) es desalentador, una sequía persistente que promedie valores PDSI de moderados (-2) a graves (-3) durante muchos años puede causar en realidad más daños que un episodio más grave pero más breve. Los valores PDSI trazados proporcionan un panorama de la variabilidad climática a lo largo del tiempo y pueden utilizarse para calcular la duración de las condiciones de sequía. La amplitud de las sequías de los años 30 y 50, y los años relativamente húmedos intermedios, son evidentes en las tendencias del PDSI para Kansas desde 1895 hasta 2011 (fig. 2).

Cronologías de anillos de árboles y otros indicadores indirectos

Los datos obtenidos a partir de diversos indicadores proporcionan una visión de los paleoclimas de Norteamérica que se remontan a cientos o miles de años, dependiendo de la ubicación. Se miden los anillos de crecimiento anuales de los árboles vivos y de la madera conservada para reconstruir los patrones climáticos de zonas extensas. Los anillos anchos en árboles muy sensibles a la sequía suelen indicar una larga estación de crecimiento con humedad adecuada, y los anillos muy estrechos suelen significar condiciones de sequía (fig. 3). El año natural exacto en que se formó el anillo de un árbol puede determinarse mediante la datación cruzada, una técnica que compara estadísticamente los patrones de las características de los anillos de los árboles entre distintos árboles vivos o muertos de una región.

Los datos recopilados de árboles con fechas cruzadas en una zona determinada forman una cronología de anillos de árboles, que puede utilizarse para identificar tendencias climáticas de amplio alcance. Los datos sintetizados de cientos de cronologías entrelazadas se han utilizado para recrear patrones climáticos anuales que se remontan al menos mil años en la mayor parte de Norteamérica. A través del Banco Internacional de Datos de Anillos de Árboles se puede acceder a una red extensa y en constante expansión de cronologías anuales de anillos de árboles (<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>).

Se dispone de valores reconstruidos del PDSI basados en cronologías de anillos de árboles desde el año 837 d.C. en el oeste de Kansas y para todo el estado en el año 1000 d.C. En varios estudios sobre la sequía en Norteamérica, se emplearon hasta 835 cronologías de anillos de árboles para reconstruir los descubrimientos anuales de

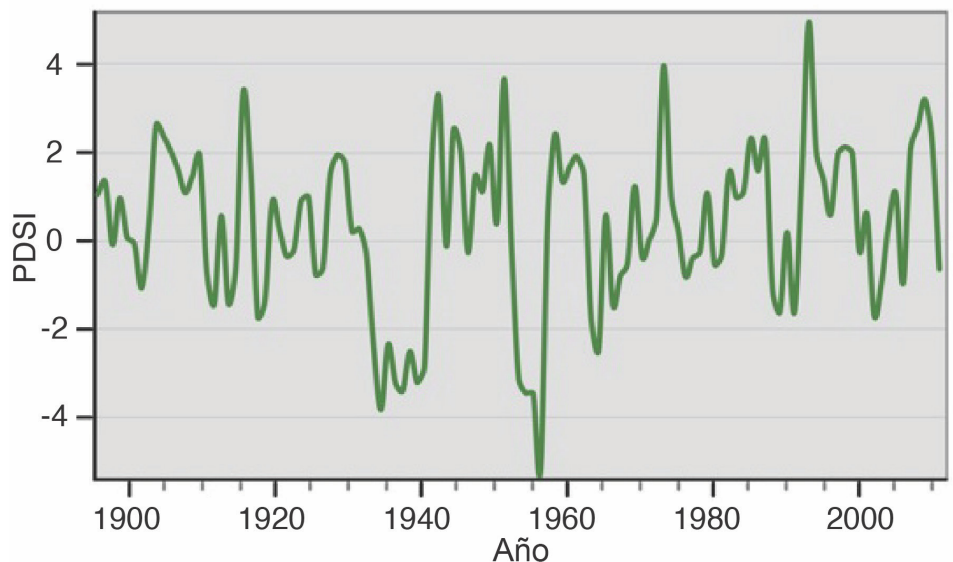


Figura 2. Tendencias del Índice Palmer de Gravedad de la Sequía (PDSI) en Kansas, 1895-2011 (*Atlas del Acuífero de las Altas Llanuras*, 2012).

los valores PDSI de la estación de crecimiento en todo el continente (Cook y Krusic, 2004; Cook et al., 2004; Stahle et al., 2007). Aunque los árboles, y por tanto las cronologías de anillos de árboles, son escasos en las Grandes Llanuras, los investigadores han podido determinar ahí patrones paleoclimáticos utilizando modelos predictivos que se basan parcialmente en cronologías de las regiones circundantes. La integridad de esta metodología se ha verificado cotejando los valores PDSI reconstruidos del siglo XX para las Grandes Llanuras con los valores PDSI basados en el registro instrumental de las Grandes Llanuras del siglo XX (Cook y Krusic, 2004; Stahle et al., 2007).

Una gran variedad de otros indicadores indirectos, derivados de dunas de arena, sedimentos lacustres, arrecifes de coral, capas de hielo, formaciones rocosas, microfósiles, depósitos de cuevas, yacimientos arqueológicos y los registros históricos, ayudan a verificar las sequías pasadas identificadas en los estudios de anillos de árboles. Por ejemplo, las pruebas de las dunas de arena de Kansas, antaño activas, atestiguan las sequías periódicas que se produjeron en el estado durante varios siglos (Arbogast, 1996), mientras que los lejanos núcleos de hielo de Groenlandia y los arrecifes de coral del Pacífico Sur contienen pistas sobre los patrones paleoclimáticos mundiales (NOAA, 2010) que pueden haber contribuido a los períodos de aridez en las Grandes Llanuras.

Gravedad y duración de la sequía

Una característica clave que distingue las sequías de los años 30 y 50 de otros períodos de sequía modernos es que la aridez no solo fue grave, sino también duradera. Los efectos negativos de un año



Figura 3. Sección transversal que muestra los anillos de un abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) de las montañas Zuni, Nuevo México (cortesía del Laboratorio de Investigación de Anillos de Árboles, Universidad de Arizona: foto de R. K. Adams).

extremadamente seco pueden superarse con relativa rapidez cuando le precede o sigue un año más húmedo, pero varios años de sequía casi ininterrumpida pueden provocar graves problemas socioeconómicos y medioambientales de larga duración. El valor del PDSI para 2002 en el suroeste de Kansas fue de -7.1, comparado con el -5.0 del año cumbre del Dust Bowl, aunque la situación no fue tan grave en 2002 porque estuvo delimitada por años con valores positivos del PDSI.

Año tras año, las condiciones climáticas varían en todo el estado, y las sequías afectan a unas regiones más duramente que a otras. Desde el año 1000 d.C., el suroeste

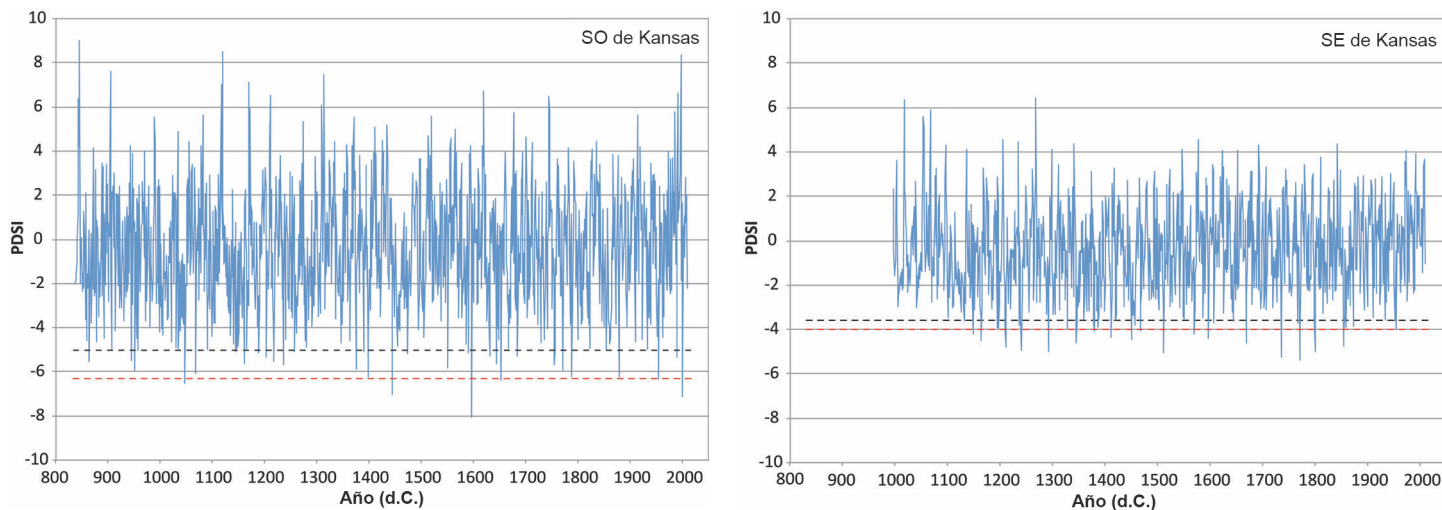


Figura 4. Reconstrucciones anuales del PDSI que muestran la gravedad de la sequía en el suroeste de Kansas (izquierda) y el sureste (derecha). Las líneas discontinuas indican los valores del PDSI de 1934 (negro) y 1956 (rojo) (Layzell, 2012). Los valores del PDSI proceden de Cook y Krusic, 2004. Las reconstrucciones de las seis regiones de Kansas están en línea en http://www.kgs.ku.edu/Hydro/Publications/2012/OFR12_18/index.html.

de Kansas ha experimentado un mayor número de sequías extremas que el sureste (fig. 4). Esta tendencia de oeste a este refleja el fuerte gradiente climático longitudinal en Kansas (Atlas del acuífero de las Altas Llanuras, 2012). La precipitación promedio actual aumenta gradualmente desde unas 15 pulgadas a lo largo de la frontera con Colorado hasta 45 pulgadas en el extremo sureste del estado (Atlas del acuífero de las Altas Llanuras, 2012).

Al igual que la gravedad de la sequía varía de oeste a este, también varía de norte a sur. En general, los datos del PDSI indican que el norte de Kansas ha experimentado, en promedio, sequías más graves que el sur de Kansas en el último milenio, posiblemente porque las condiciones que crearon sequías en el norte de las Grandes Llanuras se dan con más frecuencia. Varios estudios sugieren que algunas sequías pueden estar impulsadas por cambios en la temperatura superficial del mar (TSM), sobre todo en el Pacífico ecuatorial (Stahle et al., 2007). Cuando la TSM del Pacífico ecuatorial es fría, las sequías son frecuentes en las llanuras meridionales, ya que los sistemas meteorológicos frontales se dirigen más hacia el norte. La sequía de la década de 1950 se ajustó a ese patrón. Por el contrario, el Dust Bowl, centrado en el noroeste del Pacífico y el norte de las Llanuras, estuvo probablemente influido por otras condiciones. Entre ellas, anomalías cálidas de la TSM atlántica que impidieron que la humedad entrara en las Grandes Llanuras desde el Golfo de México (Schubert et al., 2004), y posiblemente una variación atmosférica aleatoria (Hoerling et al., 2009). Los mapas de la fig. 5 ilustran las diferencias en los patrones espaciales entre las dos grandes sequías del siglo XX.

Calcular la duración de las sequías puede ser difícil porque los intervalos secos de

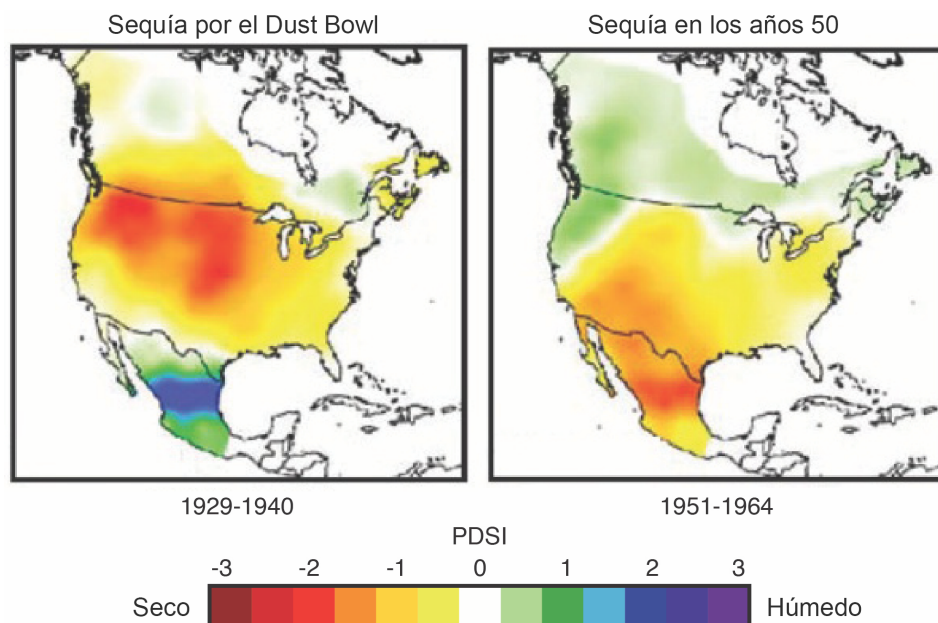


Figura 5. Patrones espaciales de las sequías de los años 30 y 50 trazados a partir de datos instrumentales del PDSI (modificado de Stahle et al., 2007).

varios años suelen estar salpicados de años húmedos ocasionales. Además, no existe un método único para calcular la duración. Para esta publicación, las duraciones de los episodios de sequía de los años 30 y 50 en Kansas se calcularon suavizando los valores del PDSI, es decir, filtrando los valores extremos altos y bajos mediante el promedio de un período de 10 o 50 años, para identificar patrones a largo plazo de duración de la sequía.

El principio y el final de cada período de sequía están delimitados por períodos de más de dos años consecutivos de valores positivos del PDSI. En la fig. 6, se trazaron los valores suavizados del PDSI para mostrar la duración de las sequías en el suroeste y sureste de Kansas.

Mega sequías

Las sequías de duración inusualmente larga suelen denominarse “mega sequías”, aunque no existe una definición estándar del término (Stahle et al., 2007). Esta circular de información al público considera como una mega sequía cualquier sequía plurianual que supere significativamente la duración de las sequías más extremas del siglo XX. Con una duración de 20 años o más, estos episodios extremos contienen años individuales de precipitaciones normales o incluso superiores al promedio.

Las mega sequías parecen ser más frecuentes en Kansas entre 850 d.C. y 1500 d.C. (fig. 7). La más larga se produjo en el centro-norte de Kansas de 1317 a 1427. Mientras el centro-norte de Kansas sufría una sequía casi continua durante 110 años, el

noroeste de Kansas experimentó dos sequías de larga duración separadas por un período más húmedo y las condiciones del suroeste de Kansas no alcanzaron proporciones de mega sequía (ver fig. 6). Estas diferencias subrayan lo mucho que pueden variar las circunstancias en una distancia corta.

Muchas de las mega sequías conocidas en Norteamérica se produjeron durante el

Período Cálido Medieval (PCM), una época de importante variabilidad climática que duró aproximadamente del 900 al 1300. Identificado por primera vez en el norte de Europa, el PCM se documentó posteriormente en otras zonas del mundo, incluidas partes del oeste de los Estados Unidos (Cook et al., 2004). Un cambio alrededor del año 1500 hacia sequías de menor duración puede

coincidir con el inicio de unas condiciones climáticas más frías durante un período conocido como la Pequeña Edad de Hielo. Muchos registros de dunas de las Grandes Llanuras centrales muestran una importante activación de las dunas de arena, un signo de mayor aridez y menor vegetación, durante estos períodos. Se han documentado diversas movilizaciones de dunas de arena desde el siglo IX hasta principios del XX en Kansas (fig. 7).

Corroboración arqueológica e histórica de las mega sequías

En el registro arqueológico se encuentran pruebas de que las mega sequías desestabilizaron las civilizaciones estadounidenses entre 850 y 1500 d.C. Aunque la sequía probablemente afectó a las poblaciones de las Grandes Llanuras durante esa época, los indicios son escasos. Sin embargo, las pruebas arqueológicas de sociedades agrícolas en regiones adyacentes proporcionan indicios de condiciones de sequía generalizadas que muy probablemente también afectaron al pueblo de las llanuras.

Varias sequías importantes pueden haber socavado las culturas nativas americanas entre los siglos XI y XV. La población de las culturas Fremont de la región de las Cuatro Esquinas del suroeste de los EE.UU. disminuyó hacia el año 1000 d.C. en medio de una sequía de varias décadas (fig. 7). La sequía del siglo XIII, comúnmente conocida como la “Gran Sequía”, contribuyó al abandono de los asentamientos agrícolas anasazi en la misma región y también parece haber perjudicado a las sociedades agrícolas misisipianas a cientos de kilómetros al noreste (Benson et al., 2007). Otras mega sequías en los siglos XIV y XV probablemente contribuyeron al abandono de Cahokia, cerca de la actual San Luis, hacia 1450 (Cook et al., 2007).

La sequía generalizada durante la expedición de Stephen Long en 1819-1820 probablemente influyó en la percepción de los exploradores de las Grandes Llanuras occidentales como el “Gran Desierto Americano”. “El principal producto de estas extensiones de arena sin mezclar es el girasol, a menudo el ocupante denso y casi exclusivo”, escribió Edwin James, miembro de la expedición. Jacob Fowler señaló que, en su camino a Santa Fe en 1821, las colinas de arena a lo largo del río Arkansas, en el centro-sur de Kansas, eran “desposeídas de vegetación porque son calvas” (Muhs y Holliday, 1995).

Set-tan (Oso Pequeño) de los kiowa registró en su historia calendárica de 60 años que durante el caluroso “verano a la sombra” de 1855, los pastos de las praderas se secaron y los kiowa tuvieron que detenerse con frecuencia para dar descanso a sus caballos

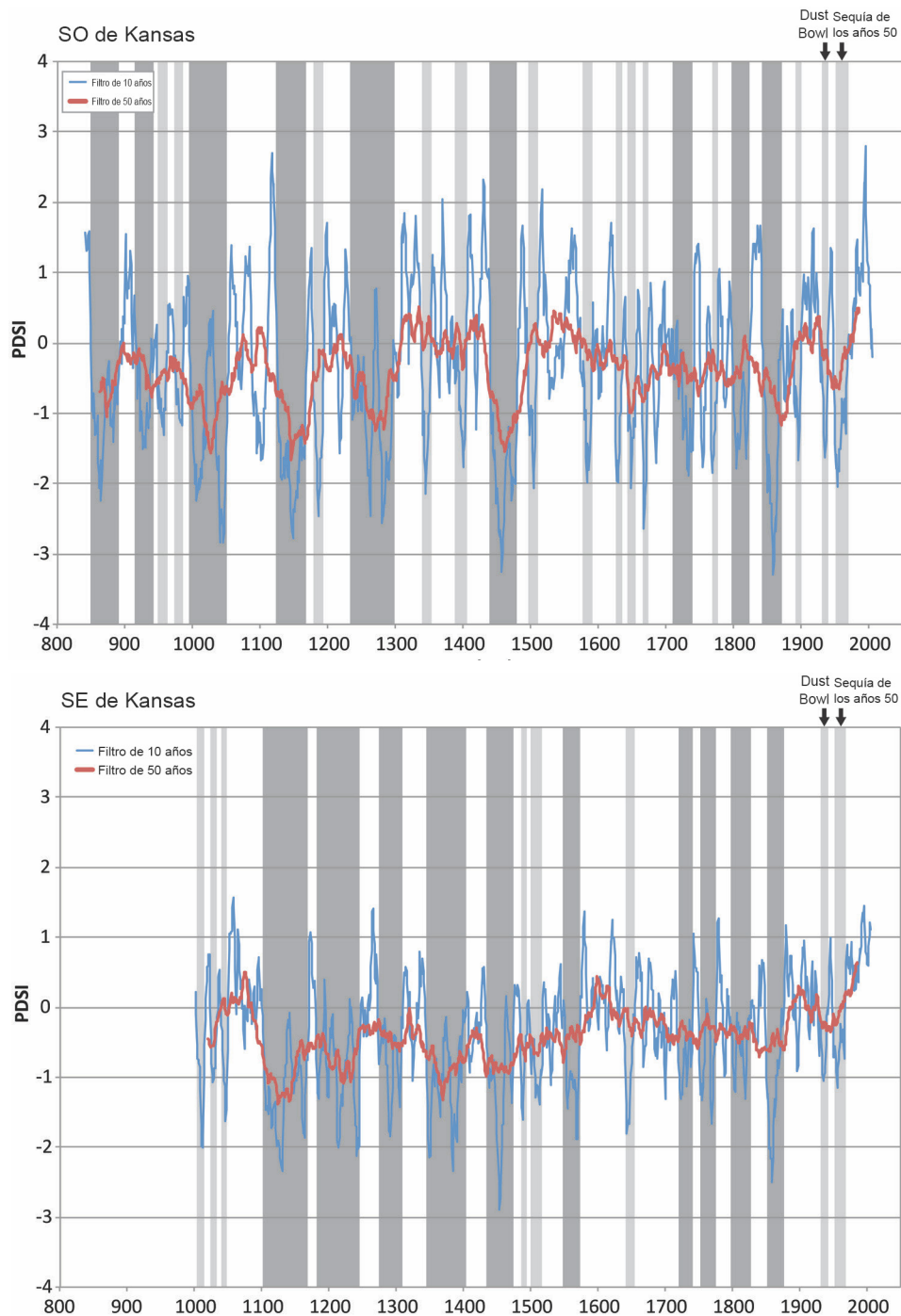


Figura 6. Reconstrucciones suavizadas del PDSI que muestran las duraciones de la sequía en el suroeste de Kansas (arriba) y el sureste de Kansas (abajo). Las barras gris claro indican episodios de duración similar a las sequías de los años 30 y 50, y las barras gris oscuro representan episodios de mayor duración. Los valores anuales del PDSI se han suavizado para filtrar los valores altos y bajos anómalos en un intervalo de 10 años (azul) y de 50 años (rojo) (Layzell, 2012). Los valores del PDSI proceden de Cook y Krusic, 2004. Las reconstrucciones de las seis regiones de Kansas están en línea en http://www.kgs.ku.edu/Hydro/Publications/2012/OFR12_18/index.html.

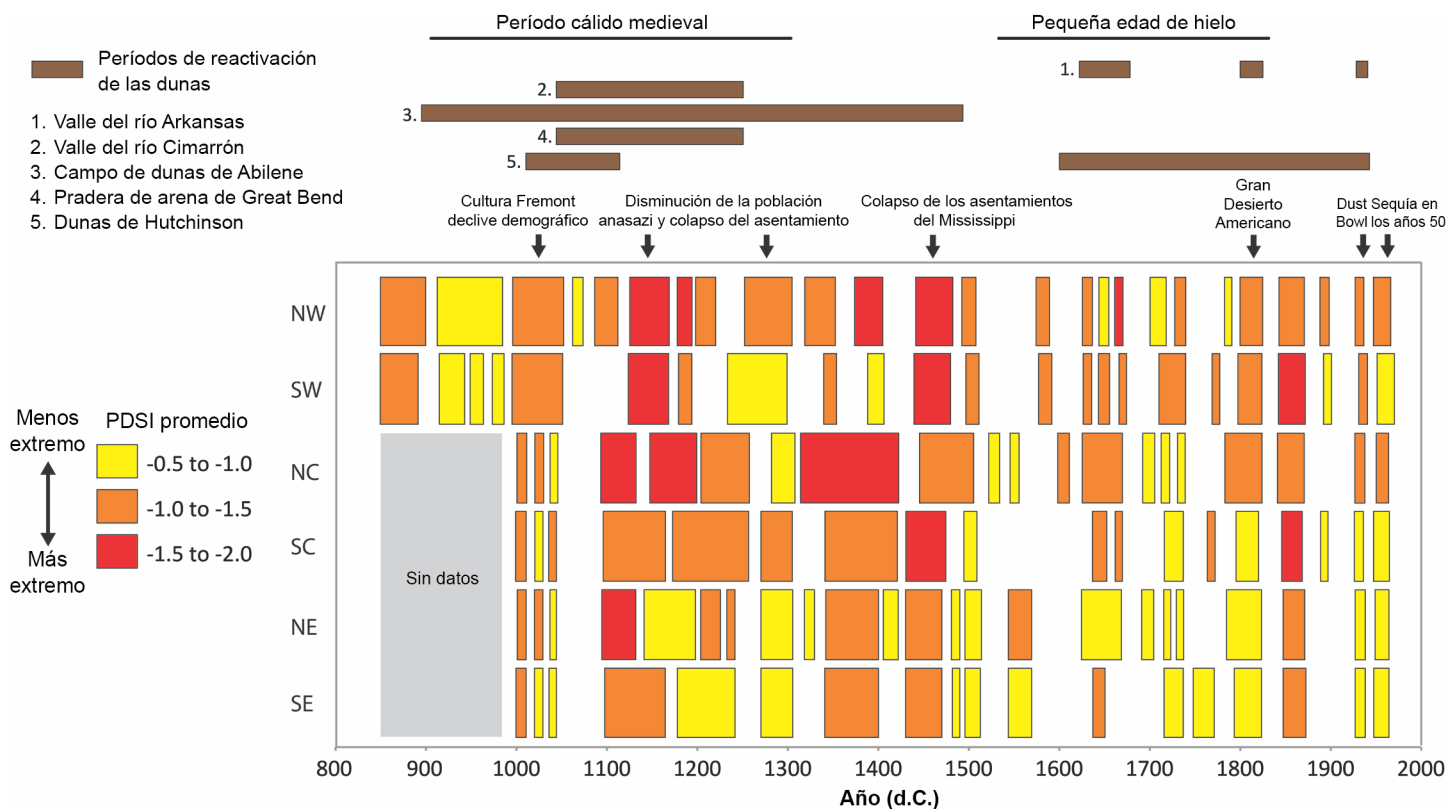


Figura 7. Síntesis de datos del PDSI reconstruidos para las seis regiones de Kansas que muestran la severidad y la duración de las sequías desde alrededor de 850 a.C. Están marcados los eventos identificados con el uso de proxies geomórficos (duna de arena), arqueológicos e históricos (Layzell, 2012). Información de reactivación de duna de arena de 1. Forman et al., 2008; 2. Lepper and Scott, 2005; 3. Hanson et al., 2010; 4. Arbogast, 1996; and 5. Halfen et al., 2012.

demacrados (Stahle et al., 2007). Los relatos de los primeros colonos del este del Territorio de Kansas también hablaban de condiciones de sequía que duraron al menos desde 1854 hasta principios de la década de 1860, con breves respiros. Los periódicos informaban sobre tormentas de polvo sofocantes, pérdidas de cosechas, incendios de praderas, vientos “abrasadores, marchitos y asoladores” y de la emigración de muchos de los colonos recién llegados (Malin, 1946). A mediados de la década de 1890, los habitantes de los alrededores de Garden City observaron que las colinas de arena de la zona eran cada vez menos extensas. Tras una breve reactivación de la arena en pequeñas zonas durante los años del Dust Bowl, las dunas del lado sur del río Arkansas, desde el este de Pueblo, Colorado, hasta las cercanías de Wichita, ahora están estabilizadas en su mayoría por la vegetación (Muhs y Holliday, 1995).

Riesgos de sequía, recursos hídricos y perspectivas futuras

Los datos paleoclimáticos recopilados para el oeste de Kansas indican que una sequía tan grave como la del Dust Bowl se produce ahí, en promedio, entre tres y cuatro veces por siglo. Según esa probabilidad, hay un 35% de probabilidades de que se produzca un año de sequía grave en cualquier década, un 70% de probabilidades en un período de 20 años y un 100% de probabilidades en un período

estimado de 40 años de vida de un granjero del oeste de Kansas. El este de Kansas tiene un promedio de una sequía de este tipo por siglo. En términos de duración, el oeste de Kansas tiene un promedio de dos sequías por siglo que abarcan una década o más.

Al aumentar el uso de las aguas subterráneas en el oeste de Kansas, a partir de la década de 1950, la región semiárida se hizo aún más susceptible a los efectos de la sequía sostenida. El sistema acuífero de las Altas Llanuras, formado en gran parte por el acuífero de Ogallala, es la principal fuente de agua municipal, industrial y de riego en el oeste y centro de Kansas. En los años de sequía, se extraen del acuífero cantidades de agua subterránea superiores a las normales para compensar la falta de precipitaciones, sobre todo durante la temporada de crecimiento. De 1996 a 2012, el nivel promedio global de agua en la parte de Kansas del acuífero de las Altas Llanuras descendió 14 pies. El suroeste de Kansas por sí solo experimentó un descenso promedio de 32.5 pies durante ese período. En condiciones de sequía en 2011 y 2012, los niveles de agua en el suroeste de Kansas descendieron 3.56 pies y 4.26 pies, respectivamente (Servicio Geológico de Kansas, 2013).

El KGS supervisa continuamente tres pozos del acuífero de las Altas Llanuras en los condados de Thomas, Scott y Haskell, y está correlacionando los datos del nivel de

las aguas subterráneas de esos pozos con los valores del PDSI y otros índices climáticos de sequía. Con base en esas correlaciones, los investigadores pueden predecir cómo responderían probablemente los niveles de agua a un aumento del bombeo para el riego y otros usos en condiciones de sequía similares o superiores a las presentadas en 1930 y 1950. (Butler et al., 2013). (Se puede acceder a las lecturas en directo sobre el nivel de agua de los pozos en http://www.kgs.ku.edu/HighPlains/HPA_Atlas/Index%20Well%20Program/#.)

El este de Kansas depende principalmente del agua superficial de los embalses federales, fuente de agua municipal e industrial para más de dos tercios de la población del estado. La sedimentación ha disminuido el almacenamiento en la mayoría de estos lagos a lo largo del tiempo, y un período sostenido de sequía podría provocar una escasez de agua sin precedentes (Oficina del Agua de Kansas, 2008).

Los sistemas hídricos y los planes de gestión suelen diseñarse para hacer frente a la “sequía registrada”, es decir, el acontecimiento hidrológico más grave documentado en el registro instrumental. Para el estado de Kansas, los años de sequía de 1952 a 1957 siguen siendo el punto de referencia de la planificación. Sin embargo, la planificación para el peor de los casos de solo cinco años de duración no prepara al estado

para las mega sequías de varias décadas que los sistemas agrícolas e hídricos actuales -dependientes de los recursos limitados de agua subterránea y superficial del estado- pueden sufrir. Las investigaciones continuas sobre siglos de variabilidad climática y sequía en el pasado proporcionarán una comprensión más clara de cómo el clima y el calentamiento global afectan la aridez y permitirán a los científicos y responsables políticos prever mejor las sequías y planificar la sostenibilidad de los recursos de aguas subterráneas y superficiales del estado.

Glosario

Pequeña Edad de Hielo: Este período de enfriamiento, que no es una verdadera edad de hielo, se define vagamente como el que duró desde aproximadamente el siglo XVI hasta mediados del siglo XIX, aunque sus fechas de inicio y fin no están totalmente consensuadas y su duración varía de un lugar a otro.

Período Cálido Medieval: período climático que duró aproximadamente del 900 al 1300 d.C., cuando se cree que las temperaturas promedio en Europa y las regiones adyacentes del Atlántico Norte fueron iguales o superiores a las actuales.

Paleoclimas: Climas que se produjeron antes de que se dispusiera de mediciones meteorológicas instrumentales y cuya ocurrencia y pautas se han identificado con pruebas procedentes de anillos de árboles, núcleos de hielo y otros indicadores indirectos.

Indicadores: Recursos naturales y artificiales como anillos de árboles, depósitos sedimentarios, artefactos arqueológicos y diarios históricos, que tienen propiedades que los fechan en una época concreta. Los indicadores pueden utilizarse para determinar acontecimientos climáticos que ocurrieron antes de que se llevaran registros instrumentales de medición directa.

Referencias

Arbogast, A. F., 1996, Pruebas estratigráficas de la movilización de arenas eólicas y la formación de suelos a finales del Holoceno en el centro-sur de Kansas, EE.UU.: *Revista de ambientes áridos*, v 34, p. 403-414.

Benson, L. V, Berry, M. S., Jolie, E. A., Spangler, J. D., Stahle, D. W., y Hattori, E. M., 2007,

Posibles impactos de las sequías de principios del siglo XI, mediados del siglo XII y finales del siglo XIII sobre los nativos americanos del oeste y los cahokianos del Mississippi: *Quaternary Science Reviews*, v 26, p. 336-350.

Butler, J. J., Jr., Whittemore, D. O., Bohling, G. C., Reboulet, E., Stotler, R., y Wilson, B. B., 2013, High Plains aquifer index well program-2012 annual report: Servicio Geológico de Kansas, Informe de expediente abierto 2013-1, 127 p., http://www.kgs.ku.edu/Hydro/Publications/2013/OFR13_1/index.html.

Cook, E. R., y Krusic, P. J., 2004, Atlas Norteamericano de la Sequía: Lamont-Doherty Observatorio de la Tierra y la Fundación Nacional de la Ciencia, <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LDEO/TRL/NADA2004/pdsi-atlas.html>.

Cook, E. R., Woodhouse, C., Eakin, C. M., Meko, D. M., y Stahle, D. W., 2004, Cambios de aridez a largo plazo en el oeste de los Estados Unidos: *Science*, v 306, p. 1.015-1.018.

Cook, E. R., Seager, R., Cane, M. A., y Stahle, D. W., 2007, Sequía en Norteamérica: reconstrucciones, causas y consecuencias: *Earth Science Reviews*, v 81, p. 93-134.

Forman, S. L., Marin, L., Gomez, J., y Pierson, J., 2008, Registro deposicional de arenas eólicas del Cuaternario tardío para el suroeste de Kansas: Sensibilidad del paisaje a las sequías: *Paleogeografía, Paleoclimatología, Paleoecología*, v 265, p. 107-120.

Halfen, A. F., Johnson, W. C., Hanson, P. R., Woodburn, T. L., Young, A. R., y Ludvigson, G. A., 2012, Historia de la activación de las dunas de Hutchinson en el centro-este de Kansas, EE.UU., durante los últimos 2200 años: *Investigación eólica*, v 5, p. 9-20.

Hanson, P. R., Arbogast, A. F., Johnson, W. C., Joeckel, R. M., y Young, A. R., 2010, Mega drenajes y activación de dunas del Holoceno tardío en el margen oriental de las Grandes Llanuras, centro-norte de Kansas, EE. UU: *Investigación eólica*, v 1, p. 101-110.

Atlas del Acuífero de las Altas Llanuras, 2012, Servicio Geológico de Kansas: http://www.kgs.ku.edu/HighPlains/HPA_Atlas/index.html.

Hoerling, M., Quan, X., y Eischeid, J., 2009, Distintas causas para dos principales sequías estadounidenses del siglo XX: *Cartas de Investigación Geofísica*, v 36, L19708,

doi:10.1029/2009GL039860.

Departamento de Agricultura de Kansas, 2011, Continúa la sequía en Kansas, las pérdidas de producción alcanzan \$1,700 millones: <http://www.ksda.gov/news/id/405>.

Servicio Geológico de Kansas, 2013, Los niveles de agua subterránea disminuyen en el oeste y centro de Kansas: <http://www.kgs.ku.edu/General/News/2013/2013groundwaterlevels.html>.

Oficina del Agua de Kansas, 2008, Sedimentación en nuestros reservorios-Causas y soluciones: Oficina del Agua de Kansas, 143 p., http://www.kwo.org/reports_publications/reports/kwri_book.pdf.

Layzell, A. L., 2012, Mil años de sequía y variabilidad climática en Kansas-Consecuencias para la gestión de los recursos hídricos: Servicio Geológico de Kansas, Informe abierto 2012-18, 23 p., http://www.kgs.ku.edu/Hydro/Publicaciones/2012/OFR12_18/index.html.

Lepper, K., y Scott, G. F., 2005, Actividad eólica del Holoceno tardío en el valle del río Cimarrón del centro-oeste de Oklahoma: *Geomorfología*, v. 70, p. 42-52.

Malin, J. C., 1946, Tormentas de polvo-Parte uno, 1850-1860: *Kansas Historical Quarterly*, v 14, no. 2, p. 129-133.

Muhs, D. R., y Holliday, V T., 1995, Evidencia de dunas activas en las Grandes Llanuras en el siglo XIX a partir de los relatos de los primeros exploradores: *Investigación del Cuaternario*, v 43, p. 198-208.

Centro Nacional de Datos Climáticos, 2012, Catástrofes meteorológicas/climáticas multimillonarias en EE.UU. 1980- 2012: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, <http://www.ncdc.noaa.gov/billions>.

NOAA, 2010, Paleoclimatología: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo>.

Schubert, S. D., Suárez, M. J., Region, P. J., Koster, R. D., y Bacmeister, J. T., 2004, Sobre la causa del Dust Bowl de la década de 1930: *Science*, v 303, p. 1.855-1.859.

Stahle, D. W., Fye, F. K., Cook, E. R., y Griffin, R. D., 2007, Mega sequías reconstruidas con anillos de árboles sobre Norteamérica desde 1300 d.C.: *Cambio climático*, v 83, p. 133-149.

KU

KANSAS
GEOLOGICAL
SURVEY

The University of Kansas

La misión del Servicio Geológico de Kansas, gestionado por la Universidad de Kansas en relación con su programa de investigación y servicios, es realizar estudios e investigaciones geológicas y recopilar, correlacionar, preservar y difundir información que conduzca a una mejor comprensión de la geología de Kansas, con especial énfasis en los recursos naturales de valor económico, la calidad y cantidad del agua, así como los riesgos geológicos.

El programa de Extensión Geológica fomenta la misión del KGS desarrollando materiales, proyectos y servicios que comunican información sobre la geología de Kansas, los recursos terrestres del estado y los productos del Servicio Geológico de Kansas a la población del estado.

Circular de información al público
35 Agosto de 2013

Extensión Geológica del Servicio
Geológico de Kansas
The University of Kansas 1930
Constant Avenue
Lawrence, KS 66047-3724
785-864-3965
<http://www.kgs.ku.edu>