

ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA, DURACIÓN Y SEVERIDAD DE LAS SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO

David Ortega-Gaucin, Jesús de la Cruz Bartolón y Mayra C. Zamora Elizalde

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

E-mail: dortega@tlaloc.imta.mx, delac4@yahoo.com, sagitariomayra95@hotmail.com

Introducción

La sequía es considerada como uno de los principales riesgos naturales y que conllevan consecuencias importantes para la gestión del agua, la seguridad hídrica y alimentaria de una región o de un país (WMO, 2006). Desde el punto de vista hidrológico, la sequía se refiere a la deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas –ríos, embalses, acuíferos, lagos, etc.– con respecto a los niveles considerados como normales. Este tipo de sequía es una consecuencia de la sequía meteorológica (déficit de lluvias), por la relación directa entre las cantidades de precipitación y la afluencia del agua en la superficie y en el subsuelo, aunque la sequía hidrológica puede demorar su inicio durante meses después del inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, puede ser que no llegue a manifestarse (Ortega-Gaucin, 2013).

En México, una de las cuencas más importantes donde la sequía hidrológica es un problema frecuente, es la cuenca del río Bravo, la cual se ubica en la frontera entre México y Estados Unidos y pertenece a la Región Hidrológica No. 24 (figura 1).

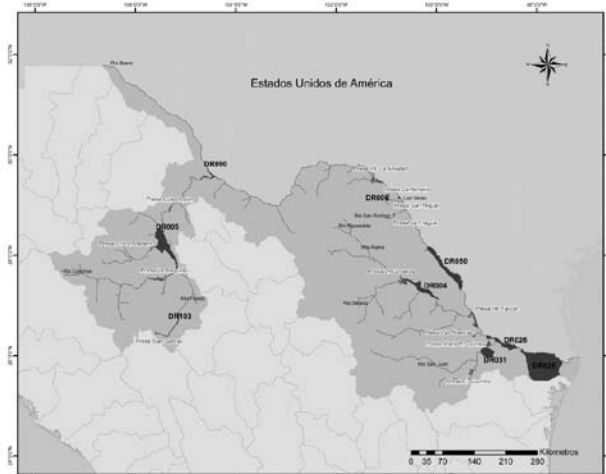


Figura 1.- Ubicación de la cuenca del río Bravo (sección mexicana): principales ríos, distritos de riego (DR) y presas de almacenamiento.

Esta cuenca ha sido muy estudiada en los últimos años debido a su importancia binacional. La mayor parte de la cuenca se ubica en una zona que, por sus características climáticas, se considera árida o al menos semiárida, presentándose un alto grado de variación en la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que los diferentes sectores son altamente vulnerables a los impactos producidos por las sequías y el uso inapropiado del agua. La demanda de agua en la cuenca se ha acentuado conforme se ha incrementado la acelerada urbanización e industrialización de la zona fronteriza; y la competencia por el agua entre los usuarios –principalmente agrícolas– tanto en la parte alta y baja de la cuenca, como en ambos lados de la frontera entre México y Estados Unidos, han generado diversas controversias locales, regionales e incluso internacionales (Linares, 2004).

En este contexto, aunque en la práctica puede ser complicado predecir la ocurrencia de un período de sequía, el análisis y caracterización de las sequías históricas registradas, pueden

ayudar a los tomadores de decisiones a prevenir y mitigar los impactos de eventos futuros de sequía. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo realizar el análisis de la frecuencia, duración y severidad de los períodos de sequía hidrológica registrados históricamente en la sección mexicana de la cuenca del río Bravo.

Materiales y métodos

Sistema hidrológico del río Bravo

El comportamiento de los escurrimientos históricos de la cuenca del río Bravo, se puede representar por algunos de los ríos más importantes, cuyas aguas son captadas en 13 presas de almacenamiento (figura 2), las cuales son las de mayor capacidad de embalse (tabla 1). Los principales usos de las aguas de estas presas son la irrigación y el abastecimiento público urbano.

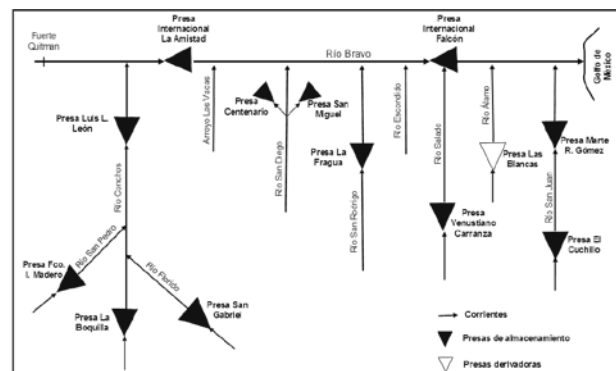


Figura 2.- Diagrama del sistema hidrológico de la cuenca del río Bravo (sección mexicana).

Tabla 1.- Principales presas de almacenamiento en la cuenca del río Bravo.

Nombre Oficial	Nombre Común	Corriente	Capacidad* (hm ³)
Federalismo Mexicano	San Gabriel	R. Florido	245.43
La Boquilla	Lago Toronto	R. Conchos	2,893.57
Francisco I. Madero	Las Vírgenes	R. San Pedro	355.29
Ing. Luis L. León	El Granero	R. Conchos	292.47
La Amistad	La Amistad	R. Bravo	4,378.00
El Centenario	El Centenario	R. Manantiales	24.59
San Miguel	San Miguel	R. San Diego	21.168
La Fragua	La Fragua	A. San Rodrigo	47.3
Venustiano Carranza	Don Martín	R. Salado	1,312.86
Falcón		R. Bravo	3,912.00
Derivadora Las Blancas	Las Blancas	R. Álamo	
Cuchillo - Solidaridad	El Cuchillo	R. San Juan	1,123.14
Marte R. Gómez	El Azúcar	R. San Juan	781.7

*Capacidad de almacenamiento al Nivel de Aguas Máximas Ordinario (NAMO);

Análisis de las sequías hidrológicas

Para analizar y caracterizar detalladamente los períodos de sequía hidrológica registrados en cada una de las presas de almacenamiento mencionadas anteriormente, se utilizó el Índice Hidrológico de Sequía (SDI, por sus siglas en inglés). Este índice fue desarrollado por Nalbantis y Tsakiris (2008) con el propósito de determinar a través del tiempo el déficit de caudales (escurrimientos) para una corriente y en un período de tiempo dado. De acuerdo con su metodología, la relación de

sequía entre cuatro aspectos, severidad-duración-frecuencia-área, se reduce a sólo dos, severidad contra frecuencia.

A partir de una serie de tiempo de volúmenes de escurrimiento mensuales $Q_{i,j}$ disponibles donde i denota el año hidrológico y j el mes dentro de este, se tiene que:

$$V_{i,k} = \sum_j^{3k} Q_{i,j} \quad i=1,2,3\dots \quad j=1,2,\dots,12 \quad k=1,2,3,4\dots \quad [1]$$

Donde $V_{i,k}$ es el volumen de escurrimiento acumulado para el i -ésimo año hidrológico y el k -ésimo periodo de referencia.

Con base en el volumen de escurrimiento acumulado $V_{i,k}$ el SDI es definido por cada periodo de referencia k de un i -ésimo año hidrológico como se muestra:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,j} - \bar{V}_k}{S_k} \quad i=1,2,3,4 \quad [2]$$

Donde \bar{V}_k es la media y S_k la desviación estándar de los volúmenes de escurrimiento acumulados del periodo de referencia k , tal como los estimados en un periodo largo de tiempo.

Al utilizar el logaritmo natural para una normalización sencilla, el índice SDI se define como:

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,j} - \bar{y}_k}{S_{y,k}} \quad i=1,2,3 \quad k=1,2,3,4 \quad [3]$$

Donde:

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}) \quad i=1,2,3 \quad k=1,2,3,4 \quad [4]$$

Y $y_{i,k}$ son los logaritmos naturales de escurrimiento acumulado con media \bar{y}_k y desviación estándar $S_{y,k}$.

La clasificación por categorías del SDI se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.- Interpretación de los valores del SDI.

Estado	Valor del SDI	Interpretación	Prob. (%)
0	$SDI \geq 0$	Sin sequía	50.5
1	$-1.0 \leq SDI < 0.0$	Sequía incipiente	34.1
2	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	Sequía moderada	9.2
3	$-2.0 \leq SDI < -1.5$	Sequía severa	4.4
4	$SDI < -2.0$	Sequía extrema	2.3

Fuente: Nalbantis y Tsakiris (2009).

Resultados

En la tabla 3 se presenta una caracterización detallada de las sequías hidrológicas según su tipo, para cada una de las presas de almacenamiento analizadas. En la mayoría de ellas el número de años con sequía es cercano al 50%, lo cual se considera normal.

Tabla 3.- Principales presas de almacenamiento en la cuenca del río Bravo.

Nombre Oficial	Años con registro	Años con sequía		Años por tipo de sequía			
		No.	%	Incipiente	Moderada	Severa	Extrema
Federalismo Mexicano	74	34	45.95	21	8	4	1
La Boquilla	82	37	45.12	25	5	5	2
Francisco I. Madero	68	34	50.00	23	7	3	1
Ing. Luis L. León	64	24	37.50	12	5	4	3
La Amistad	46	25	54.35	17	7	1	0
El Centenario	32	15	46.88	9	3	3	0
San Miguel	32	13	40.63	7	1	3	2
La Fragua	85	41	48.24	28	8	2	3
Venustiano Carranza	87	41	47.13	26	10	4	1
Falcón	46	25	54.35	17	7	1	0
Las Blancas	42	21	50.00	13	4	3	1
Cuchillo-Solidaridad*	89	44	49.44	28	11	2	3
Marte R. Gómez	89	38	42.70	23	8	2	5

En promedio, en el 30% del periodo de registro de todas las

presas han ocurrido sequías de tipo incipiente; 10% de las sequías han sido moderadas; 4% han sido sequías severas; y sólo 3% han sido sequías extremas.

Asimismo, en la tabla 4 se presentan los periodos de sequía hidrológica más prolongados que se han registrado en cada presa de almacenamiento, así como los años más secos y el tipo de sequía correspondiente. Se puede observar que los periodos de sequía más prolongados varían desde 2 años hasta 13 años consecutivos (presas La Amistad y Marte R. Gómez). Cabe mencionar que el periodo de 1994 al 2006, es donde se han presentado la mayoría de las sequías hidrológicas (desde incipiente hasta extrema) en casi todas las presas.

Tabla 4.- Periodos de sequía hidrológica más prolongados y años más secos registrados en cada presa de almacenamiento.

Nombre Oficial	Años con registro	Sequía más prolongada			Año más seco	
		Año inicial	Año final	Duración (Años)	Año	Tipo de sequía
Federalismo Mexicano	74	1988	1996	8	1985-86	Extrema
La Boquilla	82	1949	1953	4	1950-51	Extrema
Francisco I. Madero	68	1991	1994	3	1993-94	Extrema
Ing. Luis L. León	64	1994	2006	12	1995-96	Extrema
La Amistad	46	1993	2006	13	2011-12	Severa
El Centenario	32	2004	2011	7	2010-11	Severa
San Miguel	32	1993	1995	2	2014-15	Extrema
La Fragua	85	1993	1997	4	2001-02	Extrema
Venustiano Carranza	87	1949	1956	7	2001-02	Extrema
Falcón	46	1992	2001	9	1999-00	Severa
Las Blancas	42	1989	1996	7	1999-00	Extrema
Cuchillo-Solidaridad*	89	1988	1999	11	1949-50	Extrema
Marte R. Gómez	89	1986	1999	13	1965-66	Extrema

*Esta presa fue construida en 1994. Los datos anteriores a ese año corresponden a una estación hidrométrica ubicada sobre el río San Juan.

Conclusiones

Las sequías hidrológicas forman parte de la variabilidad natural de los escurrimientos superficiales en la cuenca del río Bravo. Sin embargo, la incertidumbre sobre la duración y severidad de cada episodio de sequía, es razón suficiente para vigilar continuamente el fenómeno y emitir alertas tempranas. La amenaza constante que implica la sequía, combinada con la alta vulnerabilidad de la cuenca, impulsan a tomar medidas para gestionar apropiadamente el riesgo. Para hacer frente al elevado porcentaje de déficit hídrico en cada periodo de sequía, y a la frecuencia con que éstos se presentan, es importante que las directrices sobre el manejo del agua se basen en las probabilidades reales de menor disponibilidad y no en las condiciones de aparente abundancia. Las acciones estructurales que han sido implementadas para hacer un uso eficiente del agua –tecnificación y modernización de los distritos de riego, principalmente– deben ser complementadas con acciones no estructurales que permitan hacer una gestión integral del recurso, con base en la adecuación y vigilancia estricta del cumplimiento de normas y reglamentos que rigen el uso del agua y, en su caso, mediante la aplicación de sanciones por su inobservancia. Sólo de esa manera se estará en condiciones de reducir los impactos de las sequías, disminuir la vulnerabilidad de los usuarios ante este fenómeno.

Referencias

- Linare, M. (2004). "La sequía en la cuenca del río Bravo: principios de política". *Gaceta Ecológica*, No. 70, pp. 57-66.
- Nalbantis I. and Tsakiris, G. (2008). "Assessment of Hydrological Drought Revisited". *Water Resour. Manage.*, Vol. 23, pp. 881-897.
- WMO (World Meteorological Organization). (2006). *Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges*. Ginebra, Suiza.
- Ortega-Gaucin, D. (2013). "Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del río Bravo, México". *Terra Latinoamericana*, Vol. 31, No. 3, pp. 167-180.