



Artículo: COMEII-16048

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

LOS ÍNDICES DE ESTADO COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA OPERACIÓN DE PRESAS DE RIEGO

David Ortega-Gaucin^{1*}; Israel Velasco Velasco¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, 62550 Jiutepec, Mor., México. dortega@tlaloc.imta.mx. (*Autor para correspondencia).

Resumen

Las grandes fluctuaciones de los escurrimientos que se presentan a través del tiempo en las corrientes de agua que abastecen a los distritos de riego, obligan a utilizar herramientas metodológicas que permitan prever en forma razonable las posibles dificultades que puedan ocurrir en el abastecimiento de agua en el distrito, ante diferentes grados de sequía o déficit hídrico. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo presentar el uso de los Índices de Estado (Índice de Escurrimiento, Índice de Embalse e Índice de Estado Mixto), como una herramienta para la toma de decisiones en la operación de presas de riego. A partir de estos índices es posible establecer cuatro niveles de sequía hidrológica: situación estable o de normalidad, estado de prealerta, situación de alerta, y estado de emergencia, que se activa cuando es ineludible la aplicación de medidas extraordinarias para garantizar el abastecimiento de agua para los distintos usos. Así, en este artículo se presentan algunos ejemplos del cálculo de los Índices de Estado para las principales fuentes de abastecimiento de agua de tres distritos de riego ubicados en el Organismo de Cuenca Río Balsas: 016 Estado de Morelos; 030 Valsequillo, Puebla; y 097 Lázaro Cárdenas, Michoacán. Se concluye que los Índices de Estado son útiles para planificar el uso del agua en los distritos de riego, pues permiten prever la activación de un conjunto de medidas para prevenir o mitigar los efectos de la sequía, las cuales pueden ser de carácter estratégico, táctico o de emergencia, en función del avance de la severidad del fenómeno.

Palabras clave adicionales: Distrito de riego, presa de almacenamiento, plan de riegos, sequía hidrológica.



Introducción

Los distritos de riego son los sistemas de explotación y aprovechamiento de agua con fines agrícolas más importantes de México. Éstos han sido establecidos a lo largo de más de 80 años mediante diversos decretos o acuerdos presidenciales, y están conformados por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de cuyo perímetro se ubica la zona de riego; además, cuentan con las obras de infraestructura hidráulica, aguas superficiales y del subsuelo, así como con sus vasos de almacenamiento, su zona federal, de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego (CONAGUA, 2009).

Las fuentes de abastecimiento de agua de los distritos de riego pueden estar constituidas por una o más de las siguientes obras: presas de almacenamiento, presas derivadoras, pozos profundos y plantas de bombeo, principalmente. El plan de riegos es el documento rector de la planeación de un distrito de riego. Este documento se elabora al inicio de cada año agrícola y en él se programan los cultivos a establecer, las superficies a sembrar y regar, y los volúmenes de agua a utilizar entre otros, para lo cual se realiza un balance entre los volúmenes de agua que se esperan disponer en las fuentes de abastecimiento y los que se consideran necesarios durante el año agrícola para el riego de los cultivos a establecer y en su caso para los otros usos que se tengan comprometidos en el distrito (CONAGUA, 2003).

Las condiciones climatológicas que se presentan en las áreas de riego (lluvia, temperatura, evaporación, etc.), por su origen cambiante e incierto, determinan que la magnitud de los programas agrícolas dependa sobre todo de la disponibilidad de agua que se tenga para el año agrícola, por lo que un plan de riegos constituye la base fundamental para la formulación de dichos programas. Por ello, es necesario que el plan se elabore mediante una metodología adecuada y precisa que permita su correcto dimensionamiento, cumpliendo la premisa esencial de lograr que se realice un aprovechamiento óptimo del agua disponible (Palacios, 2002).

Las grandes variaciones de los escurrimientos que suceden a través del tiempo en las corrientes que abastecen a los distritos de riego (p.ej. Ortega-Gaucin, 2013), y la necesidad de precisar de manera anticipada las superficies a sembrar y considerar las superficies con cultivos en pie para un año agrícola, hacen imperiosa la elaboración de distintas alternativas de planes de riegos (p.ej. Ortega-Gaucin *et al.*, 2009), los cuales son necesarios para definir los cultivos a establecer en función de las necesidades de los usuarios y los volúmenes de agua a extraer de las diferentes fuentes de abastecimiento durante el año, fijando de esta manera las fechas en que se deben realizar las extracciones o derivaciones.

Por lo anterior, la formulación del plan es muy importante, sobre todo cuando se trata de distritos de riego que tienen escasez de agua para la superficie abierta al



cultivo, y aquéllos cuya fuente principal de abastecimiento son las aguas superficiales de un río que se aprovechan mediante presas derivadoras o de almacenamiento (p.ej. Ortega-Gaucin, 2012), por lo que es necesario utilizar herramientas metodológicas que permitan formular planes de riego que prevean en forma razonable las posibles dificultades que puedan encontrarse en el abastecimiento de agua en el distrito. En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo presentar el uso de los Índices de Estado como una herramienta para la toma de decisiones en la planeación de la operación de los distritos de riego. Estos índices se describen a continuación.

Los Índices de Estado (I_e)

Con el fin de hacer comparables los datos recogidos en diferentes sistemas de distribución de agua y cuantificar la situación actual respecto de la histórica, se establece lo que se conoce como Índice de Estado (I_e), que tomando los valores medios, máximos y mínimos de la variable elegida en cada caso (ya sean escurrimientos de los ríos o niveles de almacenamiento de los embalses), transforma la medición en un valor adimensional que varía en un rango comprendido entre 0 (correspondiente al valor mínimo histórico) y 1 (correspondiente al valor máximo histórico), tal como se indica en las expresiones siguientes (MMA, 2005):

$$\text{Si } V_i \geq V_{med} : I_e = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{V_i - V_{med}}{V_{max} - V_{med}} \right] \quad (1)$$

$$\text{Si } V_i < V_{med} : I_e = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{V_i - V_{min}}{V_{med} - V_{min}} \right] \quad (2)$$

Donde: V_i = Valor de la medida obtenida en el mes de seguimiento; V_{med} = Valor medio en el periodo histórico; V_{max} = Valor máximo en el periodo histórico; V_{min} = Valor mínimo en el periodo histórico.

Las expresiones anteriores se establecen teniendo en cuenta que la media aritmética es uno de los estadísticos más robustos (aunque deja de ser un buen parámetro estadístico en la medida que la dispersión de los datos aumenta), a la vez que más sencillo de calcular; por lo que una comparación del dato del indicador con la media de la serie histórica, se ajustará más convenientemente, en principio, a la situación real de la zona de sequía seleccionada, si bien, deben tenerse en cuenta también los valores máximos y mínimos históricos, tal como queda reflejado en las fórmulas del I_e .

Como se observa de la Figura 1, cuando el valor de la medida V_i está comprendido entre la media de la serie y su valor máximo, el índice dará una cifra que oscilará entre 0.5 y 1, mientras que en el caso de que la medida V_i sea inferior al valor medio, lo hará entre 0 y 0.5.

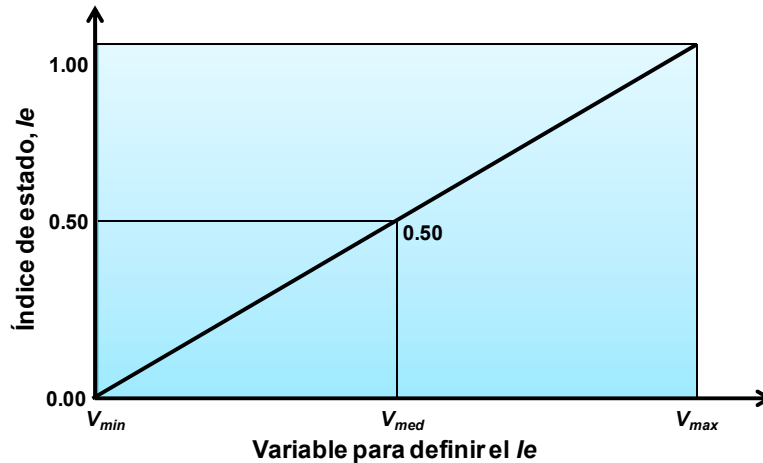


Figura 1. Elementos para la definición del Índice de Estado (I_e).
Fuente: adaptado de MMA (2005)

En función de los datos disponibles para cada sistema de abastecimiento (en este caso, para cada distrito de riego) se calcula el I_e . Para ello se toman como valores medios, máximos y mínimos los resultantes del estudio de los escurrimientos en el caso de los sistemas no regulados, o los resultantes de los niveles y aportaciones de agua a los embalses si el sistema es regulado.

Así, con el fin de conocer el I_e de un sistema no regulado, se utilizan los valores de las aportaciones de agua en la estación de aforos que haya sido seleccionada como representativa del sistema, a partir de las cuales se obtiene el Índice de Escurrimiento (I_f). En el caso de sistemas regulados, el cálculo de los indicadores, se realiza a partir de los datos recogidos en el embalse o embalses que caracterizan la cuenca o el sistema hidráulico, partiendo de los datos de nivel de embalse al inicio de cada mes, para obtener de ahí el Índice de Embalse (I_{emb}).

Si el sistema depende tanto de recursos regulados como de no regulados, o cuando dependiendo de recursos regulados, sea necesario distinguir entre volumen de embalse y aportaciones al mismo, se construye un índice mixto que pondera ambos componentes: las aportaciones al embalse, a partir de las cuales se obtiene el Índice de Escurrimiento (I_f), y el volumen de agua embalsada al inicio de cada mes, del que se obtiene el Índice de Embalse (I_{emb}). El indicador final es, por tanto, un Índice de Estado Mixto (I_m), vinculado a la aportación media anual del embalse (A_m) (MMA, 2005):

$$I_m = \left[I_{emb} * \left(\frac{1}{2} * \frac{V_{\text{útil}}}{A_m} \right) \right] + \left[I_f * \left(1 - \left(\frac{1}{2} * \frac{V_{\text{útil}}}{A_m} \right) \right) \right] \quad (3)$$

Donde: I_m = Índice de Estado Mixto, adim.; I_{emb} = Índice de Embalse, adim.; I_f = Índice de Escurrimiento, adim.; $V_{\text{útil}}$ = Volumen de almacenamiento útil, hm^3 ; A_m = Aportación media anual de agua, hm^3 .

En el caso en que el sistema se caracterice por la aportación de una estación de aforo determinada y el volumen de un embalse, el I_m se calcula de forma similar a lo explicado, pasando el I_f a determinarse a partir de las aportaciones registradas mensualmente en la estación de aforos considerada para el sistema en estudio.

El rango de valores de cada uno de los Índices de Estado (I_f , I_{emb} o I_m), que como se ha señalado, va de 0 a 1, se discretizará convencionalmente, en principio, a efectos de diagnóstico de la situación de sequía, en los cuatro niveles que se presentan en el Cuadro 1 y en la Figura 2.

Cuadro 1. Valores del Índice de Estado (I_e) y niveles de sequía correspondientes.

Valor del índice	Nivel	Situación
$I_e > 0.50$	Verde	Estable o de normalidad
$0.50 \geq I_e > 0.30$	Amarillo	Prealerta
$0.30 \geq I_e > 0.15$	Naranja	Alerta
$I_e \leq 0.15$	Rojo	Emergencia

Fuente: adaptado de MMA (2005).

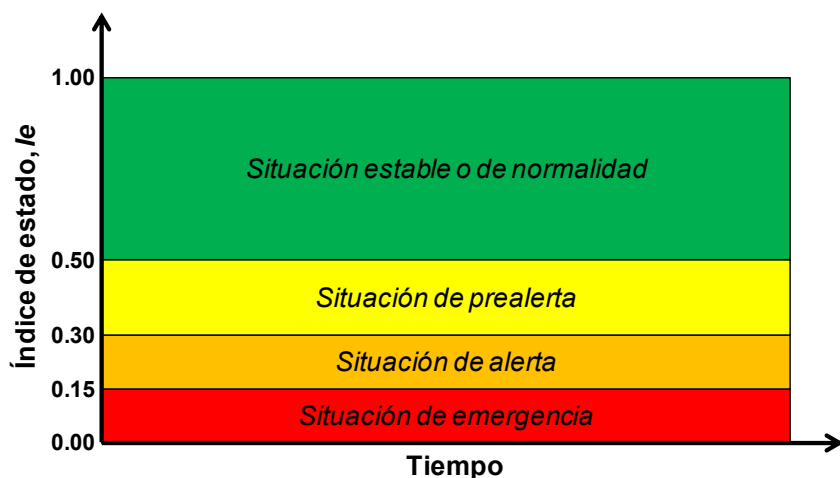


Figura 2. Clasificación convencional del índice de estado, en función de su valor adimensional. Fuente: adaptado de MMA (2005).

La situación estable o de normalidad implica que los indicadores de sequía están por encima de los valores medios registrados en las series históricas; el estado de prealerta se activa cuando los indicadores descienden por debajo de los valores medios históricos, por lo que es conveniente extremar el control; la situación de alerta se activa cuando es necesario poner en marcha medidas de conservación del recurso y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes; y, finalmente, el estado de emergencia se activa cuando es ineludible la aplicación de medidas extraordinarias para garantizar el abastecimiento de agua para los distintos usos.

Cada nivel de estado debe llevar aparejada la activación de un conjunto de medidas de actuación para prevenir o mitigar los efectos de la sequía, de importancia y repercusión creciente sobre los sistemas de demanda conforme



avance la gravedad de la sequía. Estas medidas pueden ser de carácter estratégico, táctico y de emergencia, actuando sobre los recursos, las demandas y a través de resoluciones administrativas.

Ahora bien, a partir de los resultados anteriores, surge la pregunta ¿Cuál es la aplicación de los índices de estado en la planeación del uso del agua en los distritos de riego? Para fines de planeación, en los distritos de riego al inicio de cada año agrícola (que coincide con el inicio del año hidrológico, es decir, el primer día de octubre de cada año), y en función del comportamiento que hayan tenido las variables hidrológicas en el periodo inmediato anterior, de acuerdo con la normatividad de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se proponen los volúmenes a extraer de las fuentes de abastecimiento –embalses y acuíferos– para los diversos usos.

Si las presas están llenas o tienen un volumen disponible suficiente, se espera que toda la demanda normal del periodo que inicia se pueda suministrar sin problemas; así, los diversos usos y usuarios del agua podrán planear un aprovechamiento completo, en función de sus necesidades, sin restricciones importantes, más que las impuestas por el propio sistema: capacidad de los canales y sistemas de bombeo, superficies a beneficiar, calendarios de riego, demandas domésticas e industriales, etc. No obstante, cuando los volúmenes disponibles no sean suficientes para garantizar un suministro completo de la demanda, porque los escurrimientos captados en el embalse disten de ser los requeridos, entonces se establecerán restricciones, tan leves o fuertes como el déficit que se prevea en volumen.

Así, en la Cuadro 2 se proponen las metas de reducción de la demanda de agua que se extraerá de las presas de almacenamiento de los distritos de riego en función de los valores del Índice de Estado registrados al inicio del año agrícola (1º de octubre).

Cuadro 2. Metas de reducción de la demanda de agua en las presas de los distritos de riego en función del valor del Índice de Estado al inicio del año agrícola.

Índice de Estado (I_e)	Situación	Meta de reducción de demanda	Carácter de las acciones
$I_e > 0.50$	Estable o de normalidad	Normal, sin restricciones	Voluntarias
$0.50 \geq I_e > 0.30$	Prealerta	10 a 20%	Algunas medidas de racionamiento obligatorias
$0.30 \geq I_e > 0.15$	Alerta	20 a 35%	Medidas de racionamiento obligatorias
$I_e \leq 0.15$	Emergencia	Superior a 35%	Medidas de racionamiento obligatorias

Fuente: adaptado de SEMARNAT (2012).



Para los requerimientos y usos establecidos de agua, y que cuenten con una concesión formal, en función de los volúmenes demandados, se propone observar la prelación de usos del agua siguiente (Cámara de Diputados, 2015):

1. Doméstico
2. Público urbano
3. Agrícola
4. Pecuario
5. Acuacultura
6. Generación de energía eléctrica
7. Industrial
8. Uso para fines turísticos y de recreación
9. Uso en servicios

En función de las metas de reducción de la demanda y del orden de prioridad de los usos mencionados anteriormente, se deberá calcular, de conformidad con los volúmenes de consumo para los diferentes usos que existan en el ámbito de cada distrito de riego, los porcentajes de reducción para cada uso que totalicen la meta de ahorro esperada para cada etapa. Posteriormente, será posible extender el cálculo con un mayor detalle, hasta que se puedan definir los porcentajes de reducción para los grupos que en su caso conformen a cada uso.

Al final, se sugiere que para cada uno de los usuarios de las aguas nacionales se defina el porcentaje de reducción que corresponderá a la severidad y duración de la sequía. Cabe aclarar que se podrá contar con una combinación de criterios para establecer los grupos, como son: consumos históricos, censos de número de habitantes por vivienda y zonas económicas, además de otros que se desarrollen con base en estudios regionales sobre hábitos de consumo y posibilidades de reducción.

Ejemplos de cálculo de los Índices de Estado

A continuación se presentan algunos ejemplos del cálculo de los Índices de Estado para las principales fuentes de abastecimiento de agua de tres distritos de riego pertenecientes al Organismo de Cuenca Río Balsas de la CONAGUA: distrito de riego 016 Estado de Morelos, distrito de riego 030 Valsequillo, Puebla; y distrito de riego 097 Lázaro Cárdenas, Michoacán.

Distrito de riego 016 Estado de Morelos

Las fuentes principales de abastecimiento de agua las constituyen las derivaciones de los ríos Chalma, Tetlama, Apatlaco, Yautepec, Dulce, Cuautla, Ayala y Amacuzac; así como las aguas del río Tembembe que se almacenan en la presa El Rodeo. Se trata de un sistema de irrigación cuyos aprovechamientos de agua provienen de derivaciones de ríos que en su mayoría no están regulados por presas de almacenamiento (con excepción del río Tembembe, cuyas aguas se almacenan en la presa El Rodeo). Por ello, en este caso, el indicador de sequía hidrológica más adecuado para la planeación es el Índice de escurrimiento (I_e),



calculado para cada uno de los ríos que abastecen al distrito. Sin embargo, no se cuenta con información de registros históricos de aforos en los ríos, por lo cual no es posible determinar el indicador mencionado. Entonces, dado que sólo se tienen datos históricos de almacenamientos mensuales de la presa El Rodeo, se ha calculado únicamente el Índice de embalse (I_{emb}) para esta presa.

De esta manera, en el Cuadro 3 y Figura 3 se presenta la evolución del índice de embalse para la presa El Rodeo. En el Cuadro 3 se puede observar que en el período de registro (1995 a 2012) al inicio de cada año agrícola (mes de octubre), la presa se ha encontrado en un *estado de normalidad* (color verde, $I_{emb} > 0.50$) la gran mayoría de las veces (73%); pero han existido algunos años (17%) en los que la situación de la presa ha sido un *estado de prealerta* (color amarillo, $0.50 \geq I_{emb} > 0.30$). Por ello, se considera que en esta presa sólo en casos excepcionales será necesario imponer restricciones en la demanda de agua y poner en marcha medidas de conservación del recurso y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes.

Cuadro 3. Evolución del Índice de Embalse (I_{emb}) para la presa El Rodeo.

Año Agrícola	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1995-96	0.67	0.64	0.59	0.54	0.51	0.42	0.31	0.19	0.12	0.20	0.28	0.48
1996-97	0.54	0.59	0.54	0.50	0.40	0.31	0.18	0.15	0.10	0.11	0.31	0.33
1997-98	0.48	0.51	0.46	0.37	0.31	0.20	0.12	0.05	0.00	0.05	0.17	0.49
1998-99	0.73	0.79	0.72	0.65	0.57	0.52	0.43	0.30	0.21	0.25	0.45	0.53
1999-00	0.71	0.68	0.63	0.57	0.51	0.42	0.27	0.15	0.09	0.35	0.37	0.53
2000-01	0.60	0.60	0.54	0.46	0.32	0.22	0.13	0.05	0.01	0.21	0.34	0.52
2001-02	0.66	0.66	0.60	0.52	0.42	0.36	0.28	0.07	0.01	0.13	0.25	0.32
2002-03	0.50	0.64	0.66	0.57	0.53	0.51	0.36	0.20	0.12	0.30	0.53	0.62
2003-04	0.70	0.72	0.69	0.64	0.59	0.55	0.50	0.36	0.25	0.30	0.42	0.59
2004-05	0.68	0.76	0.69	0.64	0.58	0.53	0.43	0.28	0.15	0.13	0.27	0.42
2005-06	0.54	0.56	0.47	0.49	0.38	0.28	0.16	0.07	0.03	0.06	0.11	0.39
2006-07	0.57	0.64	0.61	0.58	0.52	0.46	0.31	0.18	0.10	0.17	0.41	0.61
2007-08	0.70	0.69	0.64	0.59	0.56	0.51	0.38	0.24	0.13	0.22	0.55	0.70
2008-09	0.81	0.75	0.67	0.60	0.54	0.49	0.33	0.08	0.00	0.02	0.03	0.10
2009-10	0.38	0.53	0.52	0.48	0.42	0.44	0.29	0.17	0.10	0.07	0.50	0.68
2010-11	0.66	0.64	0.61	0.56	0.52	0.44	0.33	0.16	0.05	0.08	0.51	0.63
2011-12	0.65	0.65	0.61	0.56	0.52	0.47	0.30	0.22	0.14	0.10	0.27	0.55

Fuente: elaboración propia.

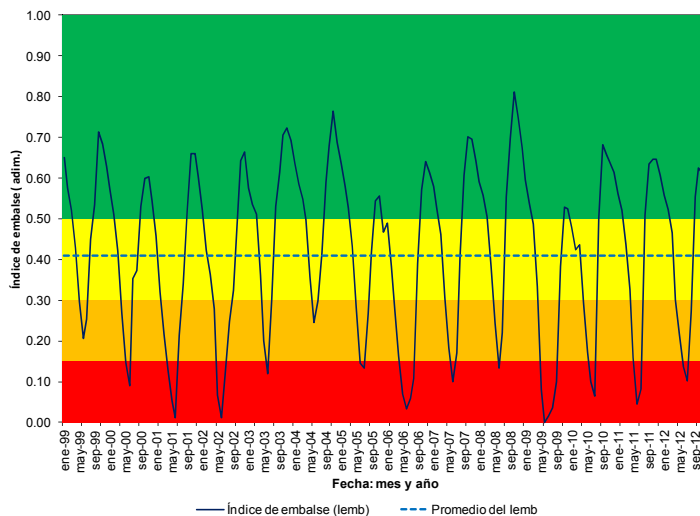


Figura 3. Evolución del Índice de Embalse (I_{emb}) para la presa El Rodeo.
Fuente: elaboración propia.

Distrito de riego 030 Valsequillo, Puebla

Su fuente principal de abastecimiento la constituyen las aguas del río Atoyac que se almacenan en la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo). Una segunda fuente de abastecimiento de agua para riego es el agua subterránea, misma que se aprovecha mediante una cantidad importante de pozos profundos. Dado que se trata de un sistema de riego regulado por una presa de almacenamiento (Manuel Ávila Camacho), el indicador de sequía hidrológica se compone de dos variables: las aportaciones de agua al embalse, a partir de las cuales se determina el Índice de Esguimiento (I_f), y el volumen de agua almacenada al inicio de cada mes, del cual se obtiene el Índice de Embalse (I_{emb}). El indicador final es, por tanto, el Índice de Estado Mixto (IEM), en el que se ponderan los dos índices antes referidos, tal como se explicó en incisos anteriores.

En la Cuadro 4 y en la Figura 4 se resume la evolución del índice de estado para la presa Manuel Ávila Camacho. En el Cuadro 4 se puede observar que en el período de 1978 a 2012, al inicio de cada año agrícola (1° de octubre), la presa se ha encontrado en un *estado de normalidad* (color verde, $IEM > 0.50$) la mayoría de las veces (51%); pero han existido varios años (40%) en los que la situación de la presa ha sido un *estado de prealerta* (color amarillo, $0.50 \geq IEM > 0.30$), y unos pocos años (8%) en los que se ha presentado un *estado de alerta* (color naranja, $0.30 \geq IEM > 0.15$). En estos últimos casos es necesario imponer restricciones en la demanda de agua (con una meta de reducción de 20 a 35%), y poner en marcha medidas de conservación del recurso agua y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes.



Cuadro 4. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Manuel Ávila Camacho.

Año Agrícola	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1978-79	0.41	0.31	0.27	0.21	0.23	0.17	0.40	0.28	0.25	0.40	0.46	0.51
1979-80	0.31	0.19	0.20	0.22	0.19	0.18	0.31	0.20	0.38	0.33	0.42	0.46
1980-81	0.38	0.32	0.29	0.25	0.25	0.27	0.40	0.33	0.62	0.73	0.69	0.64
1981-82	0.59	0.45	0.34	0.27	0.31	0.32	0.51	0.51	0.52	0.49	0.39	0.20
1982-83	0.32	0.10	0.11	0.13	0.15	0.12	0.21	0.05	0.35	0.38	0.43	0.51
1983-84	0.32	0.26	0.20	0.21	0.19	0.27	0.20	0.20	0.48	0.58	0.57	0.66
1984-85	0.57	0.45	0.31	0.32	0.26	0.30	0.43	0.37	0.58	0.58	0.62	0.56
1985-86	0.54	0.34	0.29	0.30	0.25	0.27	0.40	0.47	0.55	0.56	0.47	0.40
1986-87	0.41	0.19	0.15	0.14	0.16	0.17	0.28	0.15	0.43	0.50	0.43	0.38
1987-88	0.25	0.12	0.12	0.11	0.10	0.16	0.18	0.12	0.36	0.38	0.45	0.47
1988-89	0.35	0.18	0.16	0.16	0.15	0.15	0.29	0.16	0.39	0.38	0.48	0.40
1989-90	0.38	0.21	0.15	0.16	0.15	0.16	0.21	0.31	0.42	0.41	0.41	0.38
1990-91	0.41	0.23	0.14	0.13	0.13	0.14	0.18	0.25	0.42	0.49	0.47	0.49
1991-92	0.51	0.35	0.22	0.29	0.35	0.29	0.45	0.38	0.48	0.53	0.49	0.50
1992-93	0.54	0.53	0.31	0.24	0.24	0.27	0.32	0.19	0.50	0.51	0.51	0.56
1993-94	0.47	0.31	0.23	0.25	0.24	0.25	0.24	0.28	0.49	0.46	0.51	0.53
1994-95	0.47	0.28	0.24	0.24	0.24	0.26	0.22	0.45	0.50	0.48	0.69	0.60
1995-96	0.54	0.45	0.42	0.34	0.29	0.30	0.31	0.29	0.53	0.49	0.55	0.54
1996-97	0.60	0.41	0.39	0.38	0.35	0.42	0.56	0.52	0.55	0.56	0.52	0.54
1997-98	0.54	0.38	0.33	0.30	0.25	0.28	0.24	0.23	0.11	0.27	0.37	0.60
1998-99	0.57	0.47	0.35	0.28	0.26	0.27	0.52	0.25	0.50	0.50	0.63	0.60
1999-00	0.61	0.34	0.28	0.33	0.28	0.43	0.34	0.51	0.63	0.56	0.52	0.53
2000-01	0.51	0.34	0.27	0.26	0.24	0.23	0.37	0.39	0.53	0.56	0.47	0.51
2001-02	0.49	0.26	0.24	0.29	0.25	0.21	0.25	0.15	0.48	0.48	0.43	0.47
2002-03	0.49	0.36	0.24	0.21	0.20	0.20	0.38	0.21	0.55	0.53	0.55	0.53
2003-04	0.57	0.42	0.27	0.36	0.29	0.25	0.37	0.38	0.52	0.54	0.49	0.54
2004-05	0.58	0.45	0.27	0.32	0.23	0.25	0.39	0.29	0.29	0.45	0.49	0.46
2005-06	0.47	0.24	0.20	0.19	0.20	0.19	0.23	0.41	0.44	0.53	0.51	0.53
2006-07	0.53	0.44	0.31	0.27	0.31	0.24	0.33	0.48	0.52	0.54	0.60	0.61
2007-08	0.55	0.31	0.29	0.26	0.27	0.25	0.38	0.28	0.56	0.71	0.62	0.60
2008-09	0.27	0.31	0.29	0.28	0.25	0.24	0.33	0.35	0.43	0.40	0.45	0.60
2009-10	0.52	0.38	0.26	0.40	0.46	0.26	0.37	0.28	0.31	0.55	0.63	0.60
2010-11	0.29	0.30	0.26	0.26	0.25	0.26	0.35	0.23	0.54	0.56	0.73	0.60
2011-12	0.56	0.40	0.26	0.26	0.31	0.32	0.26	0.32	0.39	0.66	0.71	0.64

Fuente: elaboración propia.

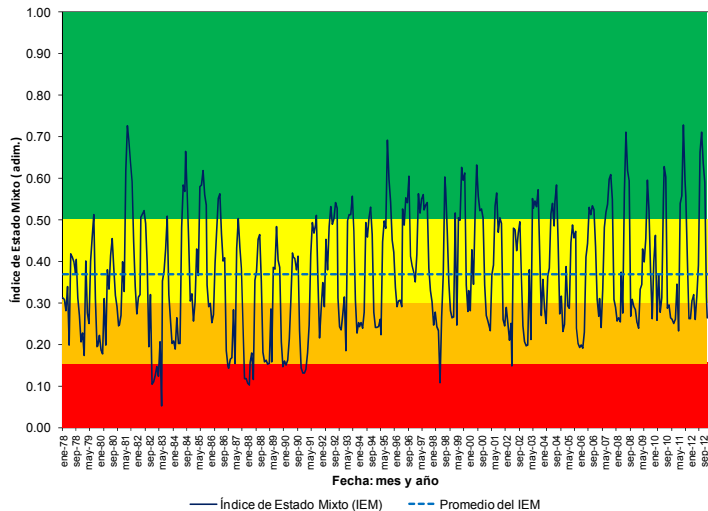


Figura 4. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Manuel Ávila Camacho. Fuente: elaboración propia.

Distrito de Riego 097 Lázaro Cárdenas, Mich.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua de este distrito de riego las constituyen las aguas que se almacenan en las presas Constitución de Apatzingán (Chilatán), Zicuirán y Los Olivos; las aguas de los ríos Cupatitzio, Cajones, Cancita, Apatzingán y Buenavista que se aprovechan mediante derivación. En este caso se trata de un sistema de irrigación regulado por tres presas de almacenamiento (Constitución de Apatzingán, Zicuirán y Los Olivos), por lo cual el indicador de sequía hidrológica más adecuado para la planeación es el Índice de Estado Mixto (IEM), el cual ha sido calculado para cada una de las presas mencionadas.

De esta forma, en la Cuadro 5 y en la Figura 5 se resume la evolución del Índice de Estado Mixto para la presa Constitución de Apatzingán (Chilatán), cuya capacidad de almacenamiento útil es de 361.2 hm³. En el Cuadro 5 se puede observar que en el período de registro (1992 a 2012), al inicio de cada año agrícola (mes de octubre), la presa se ha encontrado en un *estado de normalidad* (color verde, IEM > 0.50) la mayoría de las veces (80%); pero han existido varios años (20%) en los que la situación de la presa ha sido un *estado de prealerta* (color amarillo, 0.50 ≥ IEM > 0.30). Por ello, se considera que en esta presa sólo en casos excepcionales será necesario imponer restricciones en la demanda de agua y poner en marcha medidas de conservación del recurso y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes.

Cuadro 5. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Constitución de Apatzingán (Chilatlán).

Año Agrícola	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1992-93	0.71	0.52	0.44	0.23	0.01	0.00	0.00	0.05	0.44	0.65	0.67	0.61
1993-94	0.52	0.24	0.26	0.20	0.15	0.10	0.19	0.09	0.23	0.31	0.52	0.54
1994-95	0.52	0.22	0.21	0.14	0.16	0.21	0.18	0.15	0.30	0.49	0.70	0.65
1995-96	0.47	0.31	0.21	0.23	0.25	0.20	0.17	0.17	0.33	0.50	0.57	0.54
1996-97	0.68	0.39	0.30	0.29	0.26	0.29	0.27	0.19	0.40	0.48	0.47	0.50
1997-98	0.52	0.36	0.25	0.22	0.19	0.17	0.14	0.14	0.22	0.45	0.52	0.87
1998-99	0.72	0.53	0.31	0.27	0.22	0.23	0.21	0.19	0.34	0.57	0.56	0.66
1999-00	0.55	0.28	0.28	0.27	0.25	0.27	0.22	0.23	0.47	0.48	0.52	0.56
2000-01	0.42	0.33	0.23	0.23	0.19	0.22	0.14	0.13	0.25	0.46	0.54	0.55
2001-02	0.54	0.23	0.22	0.24	0.17	0.19	0.12	0.10	0.22	0.48	0.46	0.56
2002-03	0.54	0.63	0.34	0.28	0.23	0.24	0.18	0.15	0.33	0.49	0.51	0.60
2003-04	0.58	0.32	0.27	0.26	0.20	0.15	0.14	0.15	0.44	0.50	0.55	0.67
2004-05	0.63	0.36	0.29	0.29	0.26	0.22	0.18	0.15	0.17	0.43	0.48	0.49
2005-06	0.33	0.17	0.18	0.17	0.13	0.13	0.08	0.11	0.20	0.35	0.47	0.53
2006-07	0.64	0.52	0.26	0.24	0.20	0.20	0.17	0.13	0.24	0.48	0.55	0.62
2007-08	0.40	0.26	0.24	0.20	0.20	0.22	0.17	0.11	0.21	0.51	0.52	0.68
2008-09	0.54	0.29	0.22	0.21	0.17	0.15	0.12	0.14	0.16	0.34	0.36	0.51
2009-10	0.51	0.20	0.19	0.19	0.50	0.19	0.16	0.12	0.19	0.72	0.75	0.87
2010-11	0.60	0.37	0.28	0.24	0.19	0.18	0.15	0.10	0.22	0.54	0.53	0.65
2011-12	0.58	0.26	0.21	0.20	0.21	0.14	0.10	0.09	0.21	0.40	0.53	0.52

Fuente: elaborada con información del OCRB y la Gerencia de Distritos de Riego de la CONAGUA.

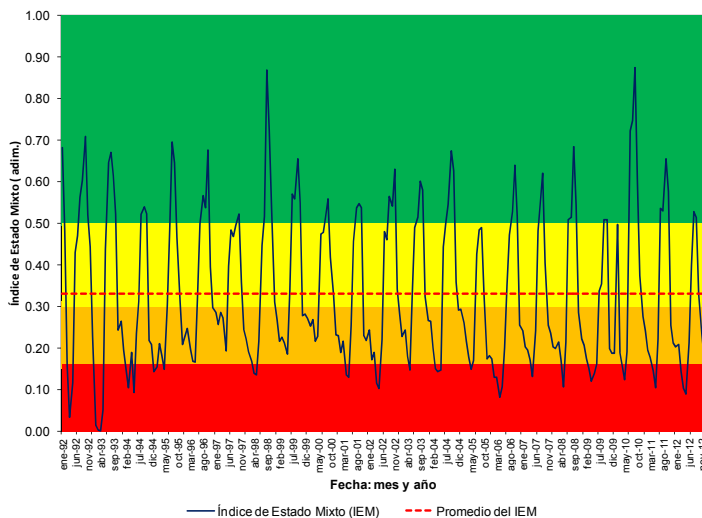


Figura 5. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Constitución de Apatzingán (Chilatlán). Fuente: elaboración propia.

Igualmente, en Cuadro 6 y Figura 6 se exhibe la evolución del IEM para la presa Zicuirán, cuya capacidad de almacenamiento útil es de 37.4 hm³. En el Cuadro 6 se puede observar que en el período de registro de esta presa (2000 a 2012), al inicio de cada año agrícola (mes de octubre), la presa se ha encontrado en un *estado de normalidad* (color verde, IEM > 0.50) durante todos los años. Por ello, sólo en casos excepcionales será necesario imponer restricciones en la demanda de agua y poner en marcha medidas de conservación del recurso y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes. Esto puede suceder, por ejemplo, durante los meses de enero a junio, donde predomina un *estado de emergencia* (color rojo, IEM ≤ 0.15), en cuyo caso es ineludible la aplicación de medidas extraordinarias.

Cuadro 6. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Zicuirán.

Año Agrícola	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
2000-01	0.70	0.61	0.34	0.12	0.11	0.11	0.07	0.05	0.02	0.10	0.52	0.67
2001-02	0.65	0.61	0.14	0.17	0.10	0.09	0.05	0.03	0.01	0.04	0.59	0.58
2002-03	0.71	0.64	0.80	0.26	0.16	0.10	0.11	0.09	0.04	0.46	0.52	0.53
2003-04	0.76	0.60	0.35	0.16	0.16	0.12	0.08	0.05	0.03	0.19	0.40	0.53
2004-05	0.65	0.60	0.23	0.10	0.09	0.12	0.09	0.02	0.00	0.17	0.52	0.68
2005-06	0.65	0.58	0.14	0.10	0.09	0.07	0.04	0.02	0.03	0.16	0.32	0.50
2006-07	0.57	0.65	0.48	0.16	0.10	0.09	0.07	0.05	0.01	0.09	0.36	0.84
2007-08	0.77	0.59	0.24	0.12	0.11	0.08	0.05	0.03	0.18	0.48	0.46	0.70
2008-09	0.60	0.22	0.13	0.12	0.09	0.07	0.05	0.07	0.08	0.45	0.26	0.51
2009-10	0.53	0.19	0.10	0.12	0.51	0.11	0.08	0.06	0.14	0.49	0.80	0.89
2010-11	0.56	0.27	0.17	0.12	0.10	0.12	0.06	0.04	0.49	0.83	0.64	0.76
2011-12	0.61	0.30	0.21	0.14	0.28	0.10	0.09	0.08	0.13	0.38	0.53	0.53

Fuente: elaboración propia.

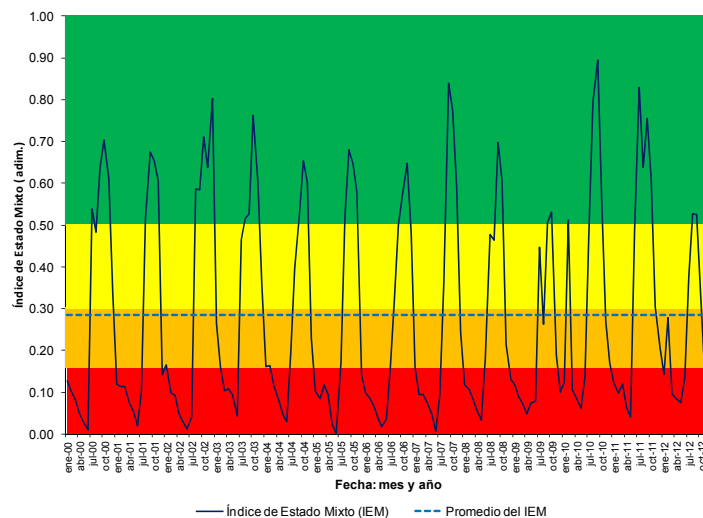


Figura 6. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Zicuirán.
Fuente: elaboración propia.

Por último, en el Cuadro 7 y Figura 7 se exhibe la evolución del IEM para la presa Los Olivos, cuya capacidad de almacenamiento útil es de 20.2 hm³. En el Cuadro 7 se puede observar que en el período de registro (2000 a 2012), al inicio de cada año agrícola (mes de octubre), la presa se ha encontrado en un estado de normalidad (color verde, IEM > 0.50) y de prealerta (color amarillo, 0.50 ≥ IEM > 0.30). Por ello, se considera que en esta presa sólo en casos excepcionales será necesario imponer restricciones en la demanda de agua y poner en marcha medidas de conservación del recurso y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes. Esto puede suceder, por ejemplo, durante los meses de enero a mayo, donde predomina un estado de emergencia (color rojo, IEM ≤ 0.15), en cuyo caso es ineludible la aplicación de medidas extraordinarias.

Cuadro 7. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Los Olivos.

Año Agrícola	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
2000-01	0.33	0.21	0.15	0.11	0.08	0.07	0.04	0.02	0.42	0.40	0.49	0.53
2001-02	0.37	0.21	0.17	0.12	0.09	0.06	0.03	0.01	0.43	0.48	0.50	0.56
2002-03	0.61	0.60	0.14	0.13	0.13	0.11	0.14	0.10	0.31	0.47	0.50	0.66
2003-04	0.64	0.24	0.29	0.25	0.14	0.17	0.09	0.07	0.50	0.52	0.31	0.54
2004-05	0.31	0.22	0.18	0.15	0.11	0.11	0.07	0.06	0.04	0.48	0.50	0.49
2005-06	0.43	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.17	0.43	0.47	0.56
2006-07	0.63	0.14	0.23	0.32	0.19	0.12	0.10	0.08	0.21	0.40	0.51	0.58
2007-08	0.56	0.34	0.22	0.12	0.24	0.07	0.04	0.03	0.17	0.50	0.54	0.64
2008-09	0.56	0.19	0.11	0.10	0.08	0.06	0.03	0.02	0.03	0.43	0.48	0.51
2009-10	0.45	0.15	0.14	0.12	0.35	0.12	0.10	0.09	0.10	0.54	0.63	0.91
2010-11	0.57	0.33	0.20	0.24	0.19	0.10	0.08	0.04	0.35	0.61	0.56	0.69
2011-12	0.57	0.45	0.12	0.24	0.17	0.10	0.07	0.02	0.38	0.50	0.63	0.54

Fuente: elaboración propia.

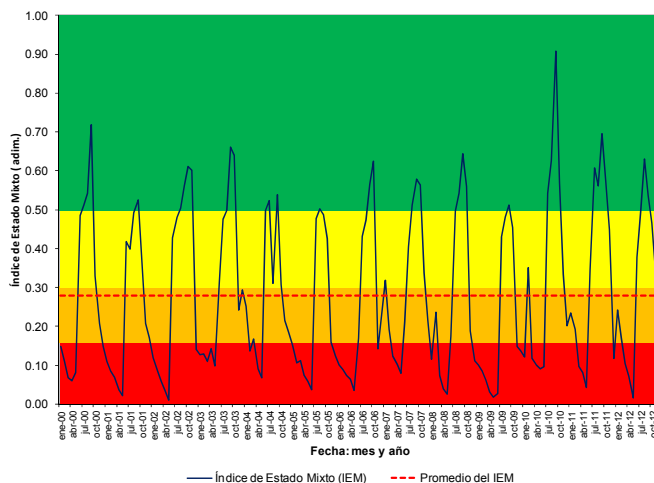


Figura 7. Evolución del Índice de Estado Mixto (IEM) para la presa Los Olivos. Fuente: elaboración propia.



Conclusiones

Para un sistema hidráulico-hidrológico de uso del agua, como es el caso de los distritos de riego, donde la fuente de suministro es un embalse o sistema de embalses alimentados por corrientes superficiales, la determinación para cada uno de los embalses de los Índices de Estado, aportará elementos comparables y dimensionalmente homogéneos, que ayudarán al análisis global del sistema y a la planeación de los volúmenes a asignar para los diversos usos demandantes, en función de la situación actual de esas fuentes de suministro, que a su vez reflejarán tanto el acontecer natural, dado por las lluvias y el escurrimiento, como los resultados del manejo y gestión inmediatamente previas, dado por los volúmenes disponibles.

De esta manera, los Índices de Estado son útiles para apoyar la planificación sobre el uso del agua en los distritos de riego, ya que permiten prever la puesta en marcha de un conjunto de medidas preventivas y de mitigación de la sequía, las cuales pueden ser estratégicas (antes de que ocurra el fenómeno), tácticas (cuando apenas inicia) o de emergencia (cuando ya está presente), en función del grado de severidad del fenómeno. Es importante mencionar que la distinción entre las medidas estratégicas, tácticas y de emergencia depende de la sincronización y la forma en que se tenga previsto ponerlas en práctica. Por ejemplo, la rehabilitación de pozos profundos (es decir, la restauración de la producción de agua en los pozos a su forma más eficiente a través de diversos tratamientos y métodos), puede ser vista como una medida estratégica si se hace de forma rutinaria para asegurar que los pozos se encuentren en óptimas condiciones de operación cuando ocurra una sequía; o bien, también puede ser una medida táctica en caso de que se realice tras la declaración de una sequía; en última instancia, también puede ser una medida de emergencia si se realiza cuando la sequía ya está muy avanzada y se requiere extraer agua del subsuelo de manera urgente.

Referencias bibliográficas

- Cámara de Diputados (LXII Legislatura). 2015. Declaración de publicidad de dictámenes de las Comisiones Unidas de Agua Potable y Saneamiento, y de Recursos Hidráulicos, con proyecto de decreto por el que se expide la Ley General de Aguas. *Gaceta Parlamentaria* 4228-II, 5 de marzo. México, D.F.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2003. *Instructivo Técnico y Normatividad para la Elaboración y Autorización de los Planes de Riego*. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola/Gerencia de Distritos de Riego. México, D.F. 62 pp.



CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2009. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 235 pp.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2005. *Guía para la Redacción de Planes Especiales de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía*. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Madrid, España. 76 pp.

Ortega-Gaucin, D., E. Mejía S., E. Palacios V. y L. Rendón P., 2009. Modelo de optimización de recursos para un distrito de riego. *Terra Latinoamericana* 27(3):219-226.

Ortega-Gaucin, D. 2012. Reglas de operación para el sistema de presas del distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua, México. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 4(1):31-39.

Ortega-Gaucin, D. 2013. Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del río Bravo, México. *Terra Latinoamericana* 31(3):167-180.

Palacios V., E. 2002. *¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? Para lograr mejores cosechas*. Trillas. México, D.F. 214 pp.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para emitir acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por la ocurrencia de sequía, así como las medidas preventivas y de mitigación, que podrán implementar los usuarios de las aguas nacionales para lograr un uso eficiente del agua durante sequía. *Diario Oficial de la Federación*, 22 de noviembre. México, D.F.