

IV SEMINARIO INTERNACIONAL DE USO INTEGRAL DEL AGUA
**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA EN EL DISTRITO
DE RIEGO 005 DELICIAS, CHIHUAHUA**

*David Ortega-Gaucin¹, Enrique Mejía Sáenz¹, Enrique Palacios Vélez¹
y Luis Rendón Pimentel²*

¹Colegio de Postgraduados, México.
Tel. (045) 595-107-83-94; e-mail: dortega@colpos.mx

²Comisión Nacional del Agua, México.
Tel. (55) 51-74-41-35; e-mail: luis.rendon@cna.gob.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el análisis y caracterización de los períodos de sequía hidrológica y meteorológica ocurridos históricamente en el distrito de riego 005 Delicias, Chih. Ello se hace con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre el fenómeno de la sequía como base para una adecuada planeación y manejo del recurso hídrico en el distrito. El análisis de la lluvia se hace mediante el Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). La caracterización de la sequía hidrológica se realiza mediante el análisis de las aportaciones de agua a las presas de almacenamiento. Los resultados indican que los eventos de sequía meteorológica ocurren con una frecuencia media de 12 a 19 meses, con duración media entre 6 y 9 meses, registrándose períodos de máxima duración de hasta 48 meses. Los eventos de sequía hidrológica ocurren aproximadamente en 2 de cada 3 años, siendo el último período de 8 años consecutivos (1997-2004) el más severo y prolongado que se ha registrado en la historia del distrito. Los períodos de sequía hidrológica tienen una relación estrecha con los de sequía meteorológica, por lo cual se concluye que las variaciones de la lluvia son el principal factor limitante en el abastecimiento de agua de los embalses.

IV SEMINARIO INTERNACIONAL DE USO INTEGRAL DEL AGUA

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA EN EL DISTRITO
DE RIEGO 005 DELICIAS, CHIHUAHUA**

**David Ortega-Gaucin¹, Enrique Mejía Sáenz¹, Enrique Palacios Vélez¹
y Luis Rendón Pimentel²**

¹**Colegio de Postgraduados, México.
Tel. (045) 595-107-83-94; e-mail: dortega@colpos.mx**

²**Comisión Nacional del Agua, México.
Tel. (55) 51-74-41-35; e-mail: luis.rendon@cna.gob.mx**

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno natural que no presenta trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas. Cervantes *et al.* (1980), citados por Jiménez (2002), previeron sobre posibles cambios en la circulación general de los vientos en el norte de México, que provocarían una disminución en la precipitación con tendencia de largo plazo, por lo menos durante 50 años, que afectarían drásticamente al ambiente y los sistemas productivos. Según la CONAGUA (1997), en el estado de Chihuahua en un período de 50 años solamente ocurrieron 8 años (16%) en los que prácticamente toda el área del estado recibió una precipitación normal o abundante. En el resto del período siempre hubo algunas áreas en las que se registraron sequías, siendo más frecuentes las sequías identificadas cuando la precipitación es menor al 80% de la media anual, fenómeno que es del orden del 50% en esta entidad federativa, con períodos continuos por debajo de la media de 3 a 14 años.

Los fenómenos de sequía ocurridos históricamente en el estado de Chihuahua y particularmente en la cuenca del río Conchos, han tenido incidencia directa en los distritos de riego que se ubican en su territorio, haciéndose particularmente evidentes en el distrito de riego 005 Delicias, cuyas presas de almacenamiento La Boquilla y Francisco I. Madero, constituyen el sistema de captación y aprovechamiento de agua para riego más importante del estado. La sequía ocurrida en los últimos años ha provocado una gran reducción en el escurrimiento de los ríos Conchos y San Pedro, que abastecen de agua a las presas referidas, como sucedió en el año agrícola 1994-1995 cuando éstas no se abrieron al riego por no alcanzar los niveles mínimos de operación. Como consecuencia de la baja disponibilidad de agua para riego, la superficie sembrada en el distrito disminuyó drásticamente en la última década, obligando a los agricultores a sembrar sólo los cultivos más rentables y/o con mayor productividad del agua, y propiciando la desaparición de los cultivos de otoño-invierno y segundos cultivos. Lo anterior ha traído como secuela inmediata la deficiencia en la producción agrícola que impacta negativamente en la economía del distrito y de la región donde se ubica. De igual forma, existen efectos secundarios asociados como el desabasto de insumos alimenticios, la disminución de la demanda de insumos y servicios para la producción, el desempleo y la migración hacia las zonas urbanas cercanas e inclusive hacia el país vecino del norte (Jiménez, 2002).

Bajo este contexto, es importante señalar que el conocimiento y examen continuos de las diversas fuentes de abastecimiento y el entendimiento del impacto de las sequías históricas registradas, pueden ayudar a los planeadores y operadores de los sistemas hidráulicos e hidrológicos a anticiparse a los efectos de la sequía (Wilhite, 1991). Por ello, en el presente trabajo se hace un análisis y caracterización de los períodos de sequía meteorológica e hidrológica ocurridos históricamente en el distrito de riego 005 Delicias, Chih., con el objeto de proporcionar un panorama más amplio del fenómeno que sirva de base para la adecuada planeación y manejo del recurso hídrico en el distrito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. El distrito de riego 005 Delicias se localiza en la zona centro-sur del estado de Chihuahua, domina una superficie regable de 80,102 ha y está situado en los municipios de Camargo, La Cruz, Saucillo, Delicias, Rosales, Meoqui y Julimes. Tiene como coordenadas geográficas medias los 28°11' de latitud Norte y los 105°28' de longitud Oeste, con una altitud media de 1,165 m. De acuerdo con el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por García (1988), el clima de la región donde se ubica el distrito corresponde al grupo BWhw(e'), el cual desde el punto de vista de su régimen de lluvias es un clima seco muy árido (BW), con lluvias de verano (w) y un porcentaje de lluvia invernal menor del 5%; con respecto a su régimen térmico es semicálido, con temperatura media anual entre 18 y 22 °C y temperatura media del mes más frío menor de 18 °C (h). Muy extremo con una oscilación anual de las temperaturas medias mensuales mayor de 14 °C (e').

Análisis y caracterización de la sequía meteorológica. Para los propósitos del presente trabajo, la sequía meteorológica es considerada como una ausencia prolongada o un déficit marcado de la precipitación con relación a la considerada como normal (Bergaoui y Alouini, 2001), lo que se traduce en sequía hidrológica al presentarse un nivel de abastecimiento anormal de las corrientes de agua y de los depósitos de agua superficial o subterránea (Barakat y Handoufe, 1998).

Aunque se han desarrollado una gran cantidad de métodos para el análisis de la sequía, como el de Thornthwaite, Fitzpatrick, Baier-Robertson y Foley, entre otros; actualmente los más utilizados son: el Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN), los Deciles de Precipitación, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), el Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI), el Índice de Humedad del Cultivo (CMI); y más recientemente se han desarrollado el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el de Lluvias Seguras (DR) y el Índice de Precipitación Nacional (RI).

En este trabajo se utilizan dos indicadores para realizar el análisis de la lluvia y la caracterización de los períodos de sequía meteorológica, éstos son el Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). Para ello, se recurre a los registros históricos de precipitación mensual de seis estaciones climatológicas representativas del distrito de riego 005 Delicias, Chih., las cuales se relacionan en el cuadro 1.

Las estaciones climatológicas denominadas Boquilla y Fco. I. Madero se ubican en las presas de almacenamiento del mismo nombre, y el resto de las estaciones se localizan dentro de los límites del distrito de riego. La información del período 1945-2000 se obtuvo de las bases de datos del Servicio Meteorológico Nacional, y la correspondiente a los años 2001-2004 fue proporcionada directamente por la Gerencia Estatal de la CONAGUA en Chihuahua.

Cuadro 1. Estaciones climatológicas representativas del DR 005 Delicias, Chih.

Nombre	Tipo de estación ¹	Período de registro	Ubicación Geográfica			
			Municipio	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)
Boquilla	A	1950-2004	Conchos	27°33'	105°35'	1,317
Camargo	A	1957-2004	Camargo	27°41'	105°10'	1,250
C. P. Km 135	A	1959-2004	Meoqui	28°23'	105°37'	1,200
Delicias	A	1957-2004	Delicias	28°12'	105°27'	1,165
Fco. I. Madero	A	1945-2004	Rosales	28°11'	105°40'	1,220
Saucillo	B	1966-2004	Saucillo	28°02'	105°15'	1,210

¹Tipos de Estación: (A) Termopluviométrica-Evaporación; (B) Termopluviométrica.

Análisis de la sequía meteorológica mediante el Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN). El PPN se considera un índice básico para el análisis de la lluvia; se refiere a la relación que existe entre la precipitación acumulada en un periodo de tiempo determinado y la precipitación normal para una región, y se expresa de manera porcentual. La precipitación media anual histórica se conoce como precipitación normal y se obtiene a partir del valor promedio de las precipitaciones anuales ocurridas en un periodo no menor de 30 años (CEISS, 2005). Los valores porcentuales estimados para cada año indican el déficit (valores negativos) y el excedente (valores positivos) en la precipitación anual ocurrida. La determinación de los años con sequía en este trabajo se lleva a cabo en principio, estimando valores del PPN en cada estación climatológica para lo cual se utilizan las series históricas de precipitación mensual acumulada del periodo de registro de cada estación. El cálculo del PPN se hace mediante la expresión 1.

$$PPN_{ij} = \frac{P_{ij}}{PN_j} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- PPN_{ij} = Porcentaje de la precipitación normal del año i en la estación j, %
- P_{ij} = Precipitación anual acumulada del año i, mm
- PN_j = Precipitación normal de la estación j (promedio histórico), mm
- i = Índice de años, adim.
- j = Índice de estaciones climatológicas, adim.

Para realizar la caracterización de la sequía meteorológica con base en los valores del PPN, se considera que una precipitación menor al 80% de la lluvia media anual constituye un año de sequía, y se utiliza además la clasificación propuesta por la CONAGUA (1997), la cual se resume en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de la sequía de acuerdo a valores del PPN.

Categoría de Sequía	Rango de deficiencia respecto a la media (%)
Ligera	20 a 30
Moderada	31 a 40
Fuerte	41 a 49
Aguda	50 a 59
Intensa	más de 60

Fuente: CONAGUA, 1997. Gerencia Estatal en Chihuahua.

Análisis de la sequía meteorológica mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). El SPI fue desarrollado por Mckee y colaboradores en 1993, con el propósito de determinar a través del tiempo el déficit de lluvia para una región y en un período de tiempo dado. El SPI permite manipular diversas escalas de tiempo, por lo cual es posible identificar los impactos de la sequía en periodos de corto, mediano y largo plazos. Para el cálculo del SPI se requieren únicamente los registros históricos de precipitación del lugar que se desea estudiar. El procedimiento involucra el ajuste de las series históricas de precipitación mensual a la función de distribución probabilística Gamma, que de acuerdo con los autores citados, es la función de distribución que mejor ajuste ofrece en series de precipitación. Según Mckee *et al.* (1993), el SPI corresponde al número de desviaciones estándar que cada observación se desvía del promedio histórico, quedando éste último representado por cero. Los valores negativos del índice, representan el déficit de la precipitación y de manera contraria, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida fue superior al promedio histórico.

En este trabajo se calcula el SPI mediante el sistema de cómputo SPI_SL_6.exe desarrollado por Mckee *et al.* (1993), para lo cual se utilizan las series históricas de precipitación mensual acumulada del periodo de registro de cada estación climatológica seleccionada. La escala de tiempo considerada para el cálculo del SPI es de 12 meses (mediano plazo). Para definir los tipos de sequía con base en los valores del SPI, se utiliza la clasificación propuesta por el Drought Monitor (2002) y adaptada por el Centro de Investigación Sobre Sequía (CEISS, 2005), la cual se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de la sequía de acuerdo con los valores del SPI.

Categoría de sequía	Rango de SPI
Condición normal seca	0 a - 0.4
Condición anormal seca	-0.5 a - 0.7
Sequía moderada	-0.8 a -1.2
Sequía severa	-1.3 a -1.5
Sequía extrema	-1.6 a -1.9
Sequía excepcional	< -2.0

Fuente: CEISS, 2005. Adaptado del Drought Monitor, 2002.

De acuerdo con este cuadro, se considera el inicio de un evento de sequía cuando los valores del SPI se presentan de manera continua por debajo de -0.5 (inclusive). La prolongación de estos valores a través del tiempo permite definir la duración del evento, dado que el fenómeno finaliza cuando el SPI alcanza valores superiores a -0.5. Cada evento de sequía, por lo tanto, tiene una duración definida por su comienzo y su final, y una intensidad diferente para cada mes que dure el fenómeno; la intensidad máxima es el valor mínimo del SPI registrado en el periodo de sequía.

Análisis y caracterización de la sequía hidrológica. Para caracterizar la sequía hidrológica, varios autores utilizan como datos hidrométricos, por ejemplo, las aportaciones a las presas, el caudal de entrada o el balance integral del ciclo hidrológico a escala de una cuenca aforada, en este caso una presa (Mckee *et al.* 1993; Fournier, 2001; Bergaoui y Alouini, 2001). El hecho de obtener los parámetros estadísticos de una muestra de valores de aportaciones anuales, permite conocer la media, variación y sesgo, y sobre el valor medio pueden establecerse anomalías: positivas en los excesos y negativas en los déficit; esto en sí mismo es una manera de caracterizar el fenómeno: las diferencias o desviaciones de cada período respecto a su media. A partir de series de datos hidrométricos de al menos 30 años, se establece una media del componente hidrológico seleccionado, al igual que la media histórica de precipitación para el

cálculo del SPI. A partir de esa media, se determina el déficit o incremento del componente seleccionado.

De esta manera, en este trabajo se hace el análisis y caracterización de los parámetros de la sequía hidrológica mediante el análisis de las aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento La Boquilla y Fco. I. Madero. La información utilizada fue proporcionada por el Departamento de Hidrología de Operación de la Gerencia de Distritos y Unidades de Riego de la CONAGUA. En el cuadro 4 se presenta un resumen de las estadísticas básicas utilizadas.

Cuadro 4. Estadísticas básicas de las aportaciones históricas a las presas de almacenamiento.

Característica	Presa	
	La Boquilla	Fco. I. Madero
Período de análisis	1935-2004	1949-2004
Número de años efectivos	70	56
Capacidad máxima (hm ³)	2,903.4	348.0
Aportación máxima (hm ³ /año)	3,492.2	1,043.9
Aportación mínima (hm ³ /año)	137.3	27.8
Aportación media (hm ³ /año)	1,156.0	361.0
Aportación mediana (hm ³ /año)	960.8	300.2
Desviación estándar (hm ³)	724.2	243.9
Coefficiente de variación	0.6	0.7

Las tendencias de las aportaciones de agua a las presas se evalúan ajustando una media móvil (con períodos de 5 años) a los registros históricos. La probabilidad de ocurrencia de diferentes valores se obtiene ajustando dichos registros a una función de distribución de probabilidades logarítmica, la cual es la que mejor se ajusta a datos de tipo hidrológico. Mediante la evolución de la desviación de las aportaciones con respecto a la media histórica, se detectan los periodos de déficit y se define el inicio de un período de sequía cuando el valor de las aportaciones acumuladas en un año es menor que el promedio histórico; la continuidad del valor de las aportaciones por debajo de la media a través de los años define la duración del período, el cual termina cuando las aportaciones registradas se hacen iguales o superiores a la media histórica.

Así, cada período de sequía está definido por los siguientes parámetros:

- Duración: Número de años consecutivos con déficit respecto a la media.
- Magnitud: Volumen deficitario promedio en el período, hm³/año.
- Severidad: Volumen deficitario acumulado en todo el período, hm³.
- Intensidad: Volumen deficitario máximo en un año dentro del período, hm³/año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación de la precipitación anual y probabilidad de ocurrencia. De acuerdo con los registros de las estaciones climatológicas seleccionadas (cuadro 1), la precipitación media anual en el distrito de riego 005 Delicias, oscila entre los 284 y los 345 mm anuales, pero se han registrado máximas de 637 mm y mínimas de hasta 68 mm en un año, lo cual indica la gran variabilidad de la lluvia en la región. Las lluvias presentan una marcada estacionalidad, ocurriendo entre el 85% y el 88% del total anual durante los meses de mayo a octubre.

En el cuadro 5 se presenta la probabilidad de ocurrencia de valores característicos de la lluvia anual, obtenidos a partir de los histogramas de precipitación anual de cada estación climatológica ajustados a funciones de distribución teóricas de probabilidad. Se aprecia que, en todas las estaciones, la probabilidad de que la precipitación sea menor o igual a la media es

igual o mayor al 50%; y la probabilidad de que se presenten lluvias anuales inferiores al 90%, 80% y 70% de la precipitación media anual es superior al 30%, 20% y 15%, respectivamente.

Cuadro 5. Probabilidad de ocurrencia de valores característicos de la lluvia anual.

Estación climatológica	Precipitación media anual (mm)	Probabilidad (%) de que la precipitación sea menor o igual que			
		La Media	10% inferior a la media	20% inferior a la media	30% inferior a la media
Boquilla	295.8	50	38	27	19
Camargo	344.6	57	43	30	16
C. P. Km 135	283.8	50	40	31	22
Delicias	307.0	57	45	33	21
Fco. I. Madero	291.2	57	47	35	24
Saucillo	332.1	54	37	21	15

Clasificación de sequías según el PPN. Considerando que una precipitación menor al 80% de la lluvia media anual constituye un año de sequía (CONAGUA, 1997), el análisis de las desviaciones respecto a la media arroja que es frecuente que se presenten dos o más años seguidos en los que esto ocurre, llegando a registrarse hasta 10 años consecutivos en algunas estaciones, tal como se muestra en el cuadro 6. Los valores mínimos de la precipitación anual que se han presentado llegan a ser de hasta el 24% de la media anual.

Cuadro 6. Estadísticas de las precipitaciones anuales mínimas.

Estación	No. de años con registro	No. de años con lluvia <80% de la media	Máx. No. de años seguidos con lluvia <80%	Valor mínimo de lluvia anual (% de la media)	Probabilidad de que a un año seco le siga otro seco (%)	Probabilidad de que a un año húmedo le siga otro seco (%)
Boquilla	55	17	3	38.0	25.5	23.6
Camargo	48	16	5	53.1	37.5	16.7
C. P. Km 135	46	16	3	23.9	19.6	19.6
Delicias	48	17	2	32.1	25.0	20.8
Fco. I. Madero	60	21	10	27.2	30.0	20.0
Saucillo	39	9	5	47.3	38.5	17.9

El análisis de los cuadros 5 y 6, lleva a la conclusión de que en el distrito de riego 005 Delicias, las bajas precipitaciones son altamente probables, lo mismo después de un año normal o abundante que a continuación de uno seco. En los últimos 35 años (1970-2004) solamente han ocurrido 10 años (28.5%) en los que prácticamente en todas las estaciones elegidas como representativas del distrito se ha registrado una precipitación normal o abundante de manera simultánea. En el resto del período, siempre ha habido estaciones en las que se han registrado sequías.

Finalmente, con los valores obtenidos del PPN para cada estación climatológica, se clasifican las sequías de acuerdo con la clasificación propuesta por la CONAGUA (1997). Los resultados se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación de sequías en el distrito de riego 005 Delicias según el PPN.

Estación	No. de años con registro	Años con sequía		No. de años por tipo de sequía				
		No.	%	Ligera	Moderada	Fuerte	Aguda	Intensa
Boquilla	55	17	30.9	4	6	2	4	1
Camargo	48	16	33.3	7	5	4	0	0
C. P. Km 135	46	16	34.8	5	4	1	1	5
Delicias	48	17	35.4	8	3	4	1	1
Fco. I. Madero	60	21	35.0	6	5	7	2	1
Saucillo	39	9	23.1	3	3	2	1	0

En todas las estaciones analizadas, excepto en la estación Saucillo, el número de años en que se ha registrado algún tipo de sequía es superior al 30% del período de registro. Las sequías más frecuentes han sido de tipo ligeras, con un rango de deficiencia de precipitación respecto a la media de 20% a 30%; siguiendo las moderadas con deficiencias del 31% al 40%; las fuertes con deficiencia de lluvia de 41% a 49%; las agudas con deficiencias de 50% a 59%; y finalmente las intensas, que presentan una deficiencia de lluvia mayor al 60% de la media.

Clasificación de sequías según el SPI. La clasificación de los períodos de sequía meteorológica ocurridos históricamente en el distrito de riego 005 Delicias, Chih., de acuerdo con los valores del SPI, se presenta en el cuadro 8. En todas las estaciones seleccionadas la cantidad de meses con sequía es igual o superior al 30% del período analizado, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el análisis del PPN (cuadro 6). Sin embargo, según la clasificación del SPI, la mayor parte de las sequías se ubican en la segunda categoría (moderadas) mientras que en el caso del PPN la mayoría resultaron ser ligeras, es decir, de menor intensidad, que en la clasificación del SPI corresponderían a la condición anormal seca. En el resto de las categorías, la coincidencia entre ambas clasificaciones es precisa, ya que los tipos de sequía según el SPI (severa, extrema y excepcional) se encuentran en el mismo orden de importancia en cuanto a la frecuencia de ocurrencia de las sequías fuertes, agudas e intensas según el PPN.

Cuadro 8. Clasificación de sequías en el distrito de riego 005 Delicias según el SPI.

Estación	No. de meses con registro	Meses con sequía		Cond. anormal seca	No. de meses por tipo de sequía			
		No.	%		Moderada	Severa	Extrema	Excepcional
Boquilla	660	215	32.6	58	79	26	36	16
Camargo	576	212	36.8	71	88	36	12	5
C. P. Km 135	552	174	31.5	66	46	22	22	18
Delicias	576	200	34.7	67	81	28	14	10
Fco. I. Madero	720	240	33.3	65	104	44	14	13
Saucillo	468	139	29.7	46	41	24	18	10

Con los valores obtenidos del SPI, es posible conocer la frecuencia y la duración medias de cada período de sequía, así como los períodos máxima duración y la fecha de registro de intensidad máxima de la sequía, para cada estación climatológica. Estos resultados se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Valores característicos de las sequías según el SPI.

Estación	No. de períodos de sequía	Frec. media (meses)	Durac. media (meses)	Período de máxima duración			Intensidad máxima	
				No. de meses	Fecha de inicio	Fecha de término	Valor de SPI	Fecha de registro
Boquilla	24	17.5	9.0	42	Feb. 1993	Jul. 1996	-2.91	Sep. 1994
Camargo	26	13.5	8.2	48	Oct. 1999	Sep. 2003	-2.49	Sep. 1998
C. P. Km 135	18	19.2	9.7	42	Ene. 1993	Jul. 1996	-3.13	Sep. 1998
Delicias	28	12.5	7.1	23	Jul. 1994	May. 1996	-3.12	Oct. 1994
Fco. I. Madero	23	16.1	8.3	48	Sep. 1950	Ago. 1954	-2.93	Sep. 1951
Saucillo	23	13.7	6.0	23	Oct. 2001	Ago. 2003	-2.34	Jun. 1983

Como se puede observar, las sequías en el distrito de riego 005 Delicias ocurren con una frecuencia media de 12 a 19 meses, es decir, se presenta un período de sequía cada año o año y medio, aproximadamente. La duración media de cada período de sequía oscila entre 6 y 9 meses, registrándose períodos de máxima duración entre 23 y 48 meses (2 y 4 años, aproximadamente). También se puede observar que ha habido dos períodos de máxima duración que se distinguen de los demás: uno registrado en la estación Fco. I. Madero y el otro en la estación Camargo, ambos con duración de 48 meses. El primero inició en septiembre de 1950 y terminó en agosto de 1954, mientras que el segundo se registró desde octubre de 1999 hasta septiembre de 2003. Sin embargo, en cuanto a la máxima intensidad de las sequías registradas, resaltan dos valores extremos del SPI: el primero es de -3.13, registrado en la estación C.P. Km 135 en el mes de septiembre de 1998, y el segundo es de -3.12, registrado en la estación Delicias en octubre de 1994, los cuales corresponden a una sequía de tipo excepcional.

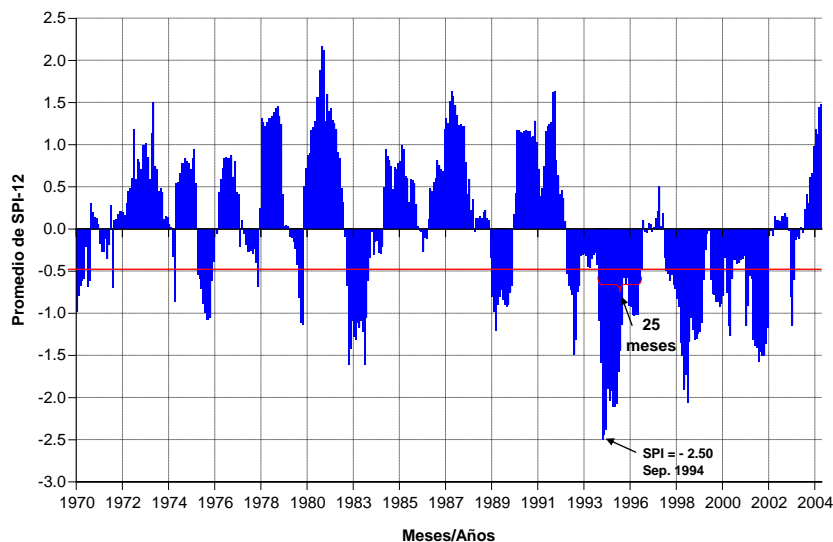


Figura 2. Comportamiento histórico del promedio de SPI, 1970-2004.

Estas diferencias en cuanto a los valores característicos de la sequía para cada estación son debidas a dos razones principales: una es, desde luego, la variación espacial de la precipitación pluvial en el distrito de riego, y la otra es que los períodos de registro para cada estación son diferentes; mientras que las estaciones Boquilla y Fco. I. Madero son las que tienen los períodos de registro más largos (55 y 60 años, respectivamente), en el resto de las estaciones

el tiempo de observación es menor a 50 años. Por este motivo, con la finalidad de obtener datos globales y un panorama más general de los eventos históricos de sequía que se han presentado en el distrito de riego 005 Delicias, se calculó el promedio de los valores mensuales del SPI para las todas las estaciones, en el período comprendido de 1970 a 2004. La gráfica resultante de estos valores se presenta en la Figura 2, en la cual se puede observar que el evento de sequía de máxima duración fue de 25 meses (julio de 1994 a julio de 1996), registrándose la máxima intensidad (SPI = -2.5) en septiembre de 1994.

Por otro lado, con el propósito de analizar lo ocurrido en los años anteriores a 1970 y de abarcar un período histórico mayor (1950-2004), se calculó el promedio de los valores mensuales del SPI para las estaciones Boquilla y Fco. I. Madero; ya que dichas estaciones son las que tienen el registro de datos más grande y, por estar ubicadas en las presas de almacenamiento, se consideran estratégicas para el análisis de la sequía hidrológica que se hace posteriormente. La gráfica resultante se presenta en la Figura 3, en la cual se aprecia que se han registrado dos eventos de sequía cuya intensidad máxima ha sido similar: el primero corresponde a septiembre de 1951 (SPI = -2.39) y el segundo ocurrió en septiembre de 1994 (SPI = -2.41). Sin embargo, este último fue ligeramente más intenso, y corresponde con la máxima duración de la sequía registrada en el período, la cual, según estos resultados, fue de 39 meses (octubre de 1994 a septiembre de 1996).

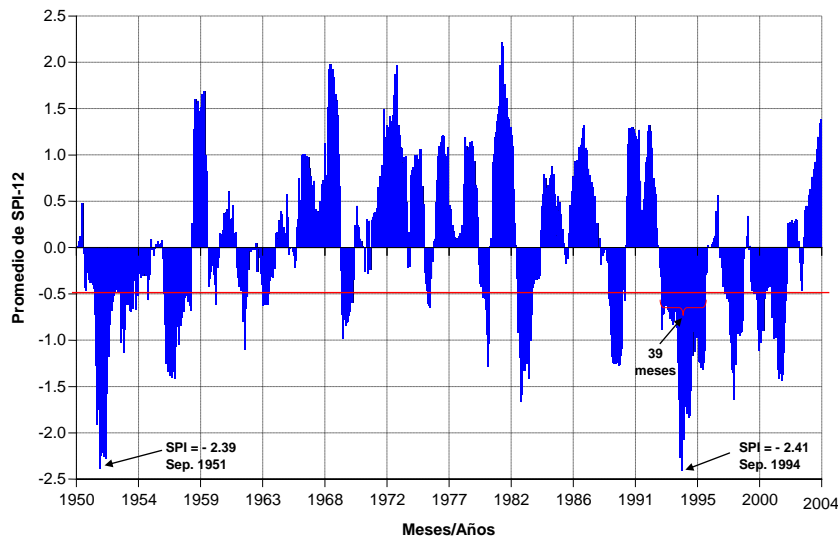


Figura 3. Comportamiento histórico del promedio de SPI, 1950-2004.

Como se mencionó anteriormente, dado que estas dos estaciones climatológicas (Boquilla y Fco. I. Madero) están ubicadas en las presas de almacenamiento del mismo nombre, es de suponer que los eventos de sequía hidrológica registrados en ambas presas, coinciden con los de sequía meteorológica. Para comprobar esta hipótesis, se llevó a cabo un análisis de la sequía hidrológica en ambas presas de almacenamiento, cuyos resultados se analizan a continuación.

Variación de las aportaciones de agua a las presas y probabilidad de ocurrencia. En principio, con respecto a la presa La Boquilla (Figura 4), la media aritmética de las aportaciones históricas (1935-2004) es de 1,156 hm³, presentándose máximos de hasta 3,492 y 3,405 hm³ en los años de 1942 y 1991, y valores mínimos extremos de sólo 137 y 217 hm³ en los años de 1951 y 1994, respectivamente.

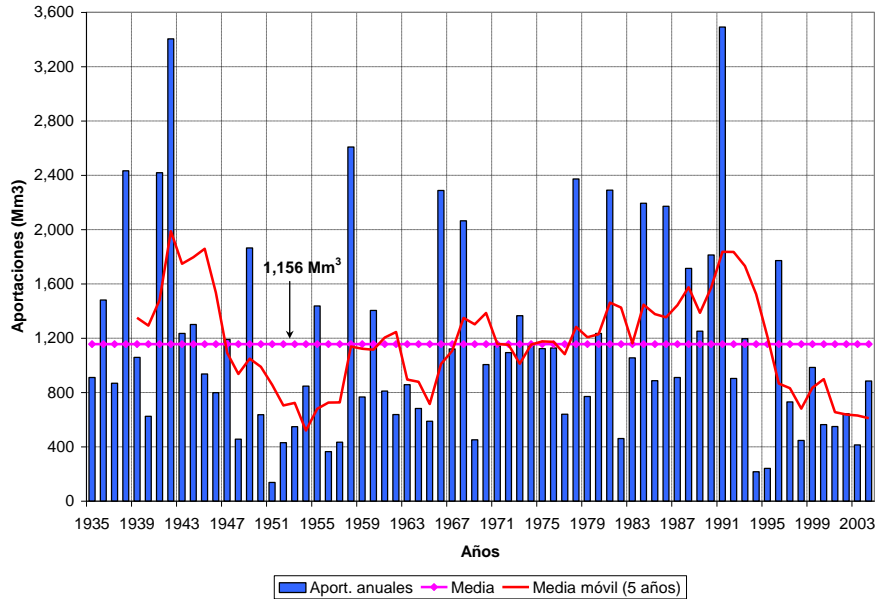


Figura 4. Aportaciones históricas a la presa La Boquilla.

De acuerdo con los registros de las aportaciones, se observa una cierta periodicidad en los eventos: aproximadamente cada 50 años se presenta una avenida máxima y después de este evento, un período de sequía severa, como fue el caso de los años 50's y la década de los 90's. Esta periodicidad en los eventos se muestra de manera alternada por períodos de altibajos a lo largo de la muestra de aportaciones, en períodos de 15 a 20 años, aproximadamente. La mediana de las aportaciones históricas a la presa la Boquilla es de 960.8 hm³ y la media geométrica calculada a partir de una distribución logarítmica de los datos mensuales acumulados (Figura 5) es de 956.5 hm³. La probabilidad de que se presente un año con aportaciones menores a la media aritmética es de 63%; para este valor de probabilidad de ocurrencia, el volumen teórico de aportaciones es de 810.1 hm³. Siguiendo con el mismo análisis, el volumen aportado por cuenca propia a una probabilidad de ocurrencia del 75% es de 637.6 hm³ y a una probabilidad de 50% es de 956.6 hm³.

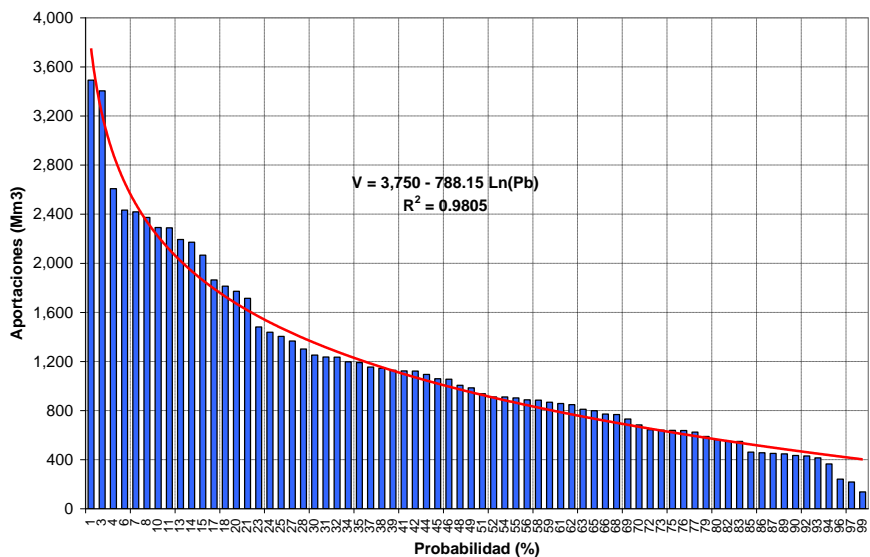


Figura 5. Distribución logarítmica de las aportaciones históricas a la presa La Boquilla.

Para el caso de la presa Fco. I. Madero (Figura 6), el comportamiento de las aportaciones históricas es muy similar dado que los escurrimientos del río San Pedro provienen de la misma cuenca hidrológica (la del río Conchos).

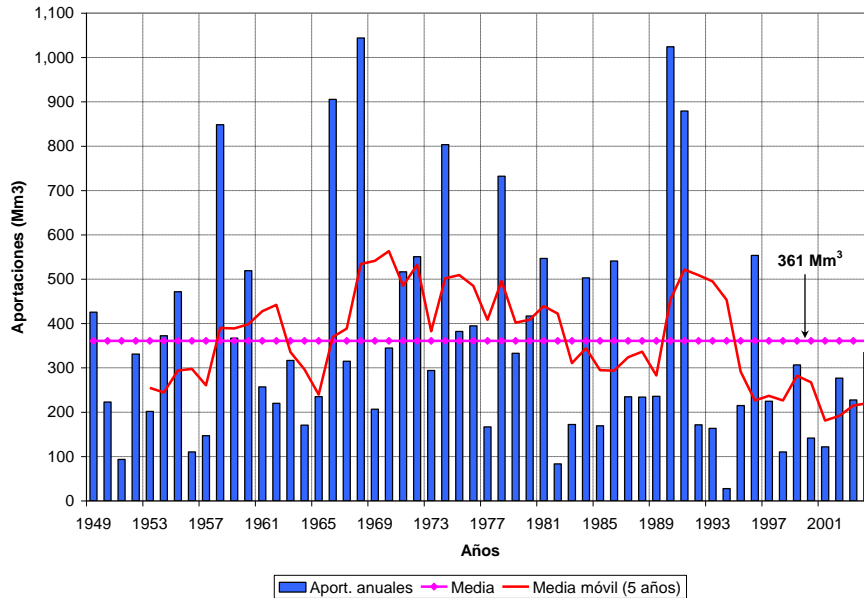


Figura 6. Aportaciones históricas a la presa Fco. I. Madero.

La media aritmética de las aportaciones históricas (1949-2004) es de 361.0 hm³, sin embargo, se han registrado máximos hasta de 1,044 y 1,024 hm³ en los años de 1968 y 1990, y un valor mínimo de sólo 27.8 hm³ en el año de 1994. Como se puede apreciar en la Figura 5, los años con avenidas máximas son mayores en comparación a los registrados en la presa La Boquilla.

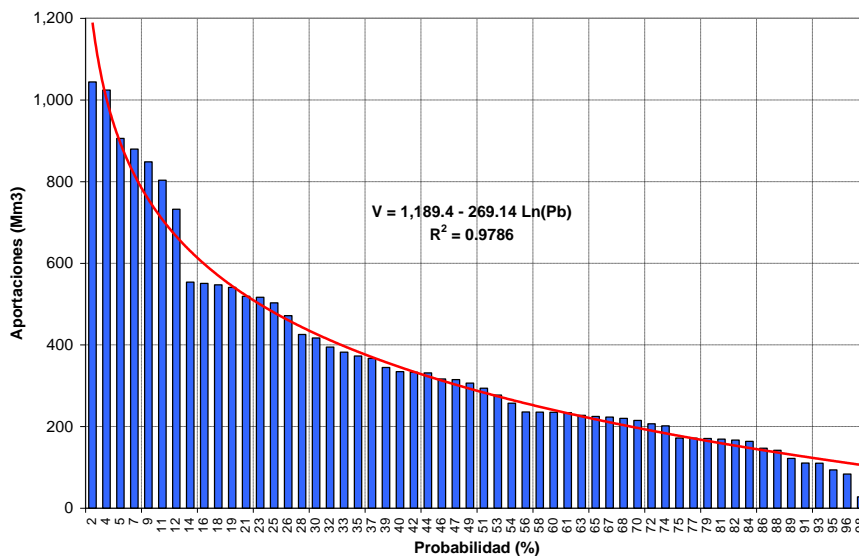


Figura 7. Distribución logarítmica de las aportaciones históricas a la presa Fco. I. Madero.

El valor de la mediana aritmética de las aportaciones históricas es de 300.2 hm³ y la media geométrica calculada a partir de una distribución logarítmica de los datos mensuales (Figura 7)

es de 290.0 hm³. Realizando el mismo análisis que en las aportaciones a la presa La Boquilla, a una probabilidad de ocurrencia del 63%, el cual corresponde a esperar un año menor que la media aritmética, el volumen aportado sería del orden de 227.4 hm³. Asimismo, el volumen esperado a una probabilidad de ocurrencia del 75% es de 172.1 hm³ anuales.

Los resultados anteriores permiten constatar que en las últimas seis décadas, las aportaciones a las presas de almacenamiento se vieron afectadas severamente por la escasez y la importante variabilidad de la distribución de la lluvia. Para conocer de manera más precisa cuáles han sido los períodos de sequía, su duración, intensidad y severidad, a continuación se realiza un análisis de las desviaciones de las aportaciones con respecto a la media.

Principales parámetros de la sequía hidrológica. En principio, con respecto a la presa La Boquilla (Figura 8), considerando que tiene un período de registro de aportaciones de 70 años, en 46 de ellos se ha presentado algún tipo de sequía, los cuales corresponden al 65.7% del total. En esta presa se detectaron al menos cuatro periodos de sequía prolongada con duración mayor de cuatro años, siendo el período más severo de ocho años consecutivos (1997-2004) con un déficit acumulado de -4,031.7 hm³. La intensidad máxima de la sequía ocurrida en un año para la presa La Boquilla, se registró en el año de 1951 en el cual las aportaciones de agua tuvieron un déficit de -1,019 hm³ (-88%) con respecto a la media. Esto coincide con la máxima intensidad de la sequía meteorológica registrada en septiembre de 1951, de acuerdo con el análisis del SPI realizado anteriormente.

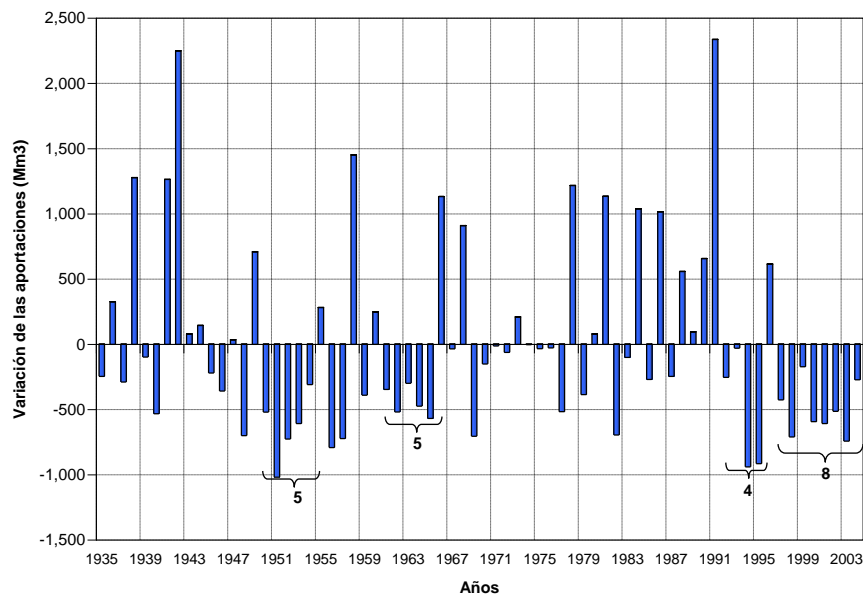


Figura 8. Sequía hidrológica en la presa La Boquilla.

Por otro lado, analizando la presa Fco. I. Madero (Figura 9), se obtiene que de un total de 56 años con registro de aportaciones, en 35 de ellos se ha presentado algún grado de sequía, lo cual representa el 62.5% del total. El comportamiento de la sequía en esta presa es muy similar al registrado en la presa La Boquilla: también se detectaron al menos cuatro periodos de sequía prolongada con duración mayor de 4 años, siendo el período de máxima duración el mismo para ambas presas (ocho años consecutivos, 1997-2004), sólo que en este caso el déficit acumulado es de -1,143.9 hm³. Para la presa Fco. I. Madero, la intensidad máxima de la sequía ocurrió en el año de 1994 en el cual las aportaciones de agua presentaron un déficit de -333.2

hm³ (-92.3%) con respecto a la media. Esto también coincide con la máxima intensidad de la sequía meteorológica registrada en septiembre de 1994, de acuerdo con el análisis del SPI realizado anteriormente, lo cual indica que las variaciones de la lluvia son el principal factor limitante en el abastecimiento de agua de los embalses.

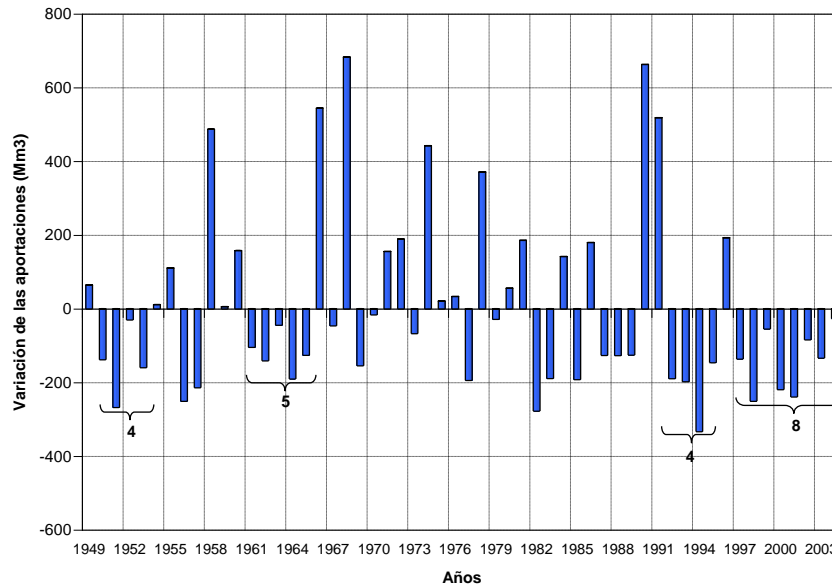


Figura 9. Sequía hidrológica en la presa Fco. I. Madero.

Es evidente que la variación de las aportaciones a las presas de almacenamiento es bastante pronunciada, ocurriendo aportaciones inferiores a la media aproximadamente en 2 de cada 3 años, con períodos de sequía cuyo déficit va de -3% hasta -92% de la media. Por ello, si se programan volúmenes esperados con la media aritmética, en la mayoría de los años se presentará un déficit en la demanda propuesta.

CONCLUSIONES

Dado que el distrito de riego 005 Delicias, Chih. se ubica en una zona eminentemente árida, el aporte de la lluvia como insumo en el proceso productivo es poco significativo. Sin embargo, el análisis de la precipitación pluvial permite constatar que la sequía meteorológica es un fenómeno persistente y recurrente en la región, y que existe una relación estrecha entre los períodos de sequía meteorológica y los de sequía hidrológica.

Los indicadores utilizados para el análisis de la lluvia, el Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), permiten caracterizar de manera conveniente los períodos de sequía meteorológica. Ambos indicadores revelan que en todas las estaciones climatológicas analizadas, el número de años con sequía es igual o superior al 30% del período analizado. El comportamiento de la lluvia en el distrito es altamente variable en el espacio y en el tiempo, no sigue un patrón definido ni muestra una tendencia clara, sino que destaca la aleatoriedad, irregularidad y persistencia de los periodos deficitarios. Los eventos de sequía meteorológica ocurren con una frecuencia media de 12 a 19 meses, con duración media entre 6 y 9 meses, registrándose períodos de máxima duración de hasta 48 meses, y la máxima intensidad se presenta en los meses más húmedos (junio a octubre), variando de una estación climatológica a otra.

El análisis de las aportaciones de agua a las presas de almacenamiento permite caracterizar de manera conveniente los períodos de sequía hidrológica. Los registros históricos de las presas La Boquilla y Fco. I. Madero muestran que los períodos de sequía hidrológica más intensos coinciden con los eventos de sequía meteorológica más intensos, lo cual indica que las variaciones de la lluvia son el principal factor limitante en el abastecimiento de agua de los embalses. La irregularidad de las aportaciones a las presas de almacenamiento es bastante pronunciada. Aproximadamente en 2 de cada 3 años ocurren aportaciones inferiores a la media en ambas presas, registrándose años con déficit de -3% hasta -92% y períodos secos que duran de 1 a 8 años, siendo el último período de 8 años consecutivos (1997-2004) el más severo y prolongado que se ha registrado en la historia del distrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barakat, F. y Handoufe, A., 1998. **Approche Agroclimatique de la Sécheresse Agricole au Maroc**, Sécheresse 9(3). pp. 201-208.

Bergaoui, M. y Alouini, A., 2001. **Carctésisation de la Sécheresse Météorologique et Hydrologique: Cas du Bassin Versant de Siliana en Tunisie**, Sécheresse, 12(4). pp. 205-213.

Centro de Investigación Sobre Sequía (CEISS), 2005. **Monitoreo de la sequía en Chihuahua** [en línea], Aldama, Chihuahua [31 de enero de 2005]. Disponible para *World Wide Web*: <http://www.sequia.edu.mx/proyectos/monitoreo/metodos.htm>

CONAGUA, 1997. **Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Chihuahua 1995-2020**, Gerencia Estatal de la CONAGUA en Chihuahua, Chihuahua. Tomo 1, 155 p.

Fournier J., M., 2001. **L'eau Dans les Villes d'Amérique Latine – Inégalités Sociales et Concurrences des Usages**, Paris-Montréal-Budapest-Turin: L'Halmattan, Coll. Géographie Sociale.150 p.

García, E., 1988. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen**. 4ª Edición. México, D.F. 236 p.

Jiménez G., G., 2002. **Uso Agrícola del Agua en la Cuenca del Río Conchos**, Texas Center for Policy Studies, Conferencia "Redescubriendo la Cuenca del Río Conchos", Chihuahua, Chihuahua. 20 p.

McKee T., N. *et al.*,1993. **Drought Monitoring with Multiple Time Scales**, American Meteorological Society, 9th Conference on Applied Climatology. pp. 233-236.

Wilhite D., A., 1991. **Drought Planning: a Process for State Government**, Water Resources Bulletin, AWRA27(1). pp. 29-38.

Recomendación para citar este artículo:

Ortega-Gaucin, D. *et al.* 2008. *Análisis y caracterización de la sequía en el distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua*. En: Arteaga T., E. *et al.* (Editores), **Memorias del IV Seminario Internacional del Uso Integral del Agua**. SEMARNAT-IMTA-UACH. Del 6 al 8 de agosto de 2008. Jiutepec, Morelos. pp. 4-1 a 4-15.