

FORMULACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANEJO DE LA SEQUÍA EN LAS REGIONES DEL NORTE DEL PAÍS AFECTADAS POR ESTE FENÓMENO

Informe final del proyecto TH1205.1

Diciembre de 2012

FORMULACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANEJO DE LA SEQUÍA EN LAS REGIONES DEL NORTE DEL PAÍS AFECTADAS POR ESTE FENÓMENO

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.....	5
2.1. Información básica.....	5
2.2. Fisiografía e hidrografía.....	5
2.3. Oferta de recursos hídricos.....	11
2.4. Usos y demandas de agua.....	17
2.5. Caracterización de sequías históricas.....	22
2.6. Persistencia de las sequías en la cuenca del río Conchos.....	35
2.7. Vulnerabilidad a la sequía.....	41
2.8. Pronóstico a mediano plazo de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Conchos.....	42
3. MONITOREO DE LA SEQUÍA Y APLICACIÓN DEL SDI A DIVERSAS ESCALAS TEMPORALES EN LA CUENCA DEL RIO CONCHOS.....	55
3.1. Monitoreo y seguimiento del fenómeno.....	55
3.2. Métodos de análisis.....	55
4. ACCIONES PARA AFRONTAR LA SEQUIA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y DE AGUA POTABLE.....	58
4.1. Fases de ocurrencia de la sequía y déficit de agua.....	58
4.2. Estrategia general para afrontar las sequías.....	60
4.3. Medidas estratégicas.....	63
4.4. Medidas tácticas.....	66
4.5. Medidas de actuación en situación de emergencia.....	67
4.6. Estrategias de gestión de sequias.....	68
5. REFERENCIAS.....	82

1. INTRODUCCIÓN

El Plan de actuación en situación de alerta y eventual sequía supone un avance en la mejora de la gestión de los recursos hídricos durante las situaciones de escasez en la cuenca y trata de definir tanto la organización de los medios humanos y técnicos, su interrelación con los usuarios y público en general afectado por estas situaciones y las actuaciones tanto de carácter administrativo como las estructurales de emergencia y las de gestión de la demanda en la cuenca.

El objetivo general de los Planes de Sequía es *minimizar los aspectos ambientales, económicos y sociales de eventuales situaciones de sequía*. Este objetivo general se persigue a través de los siguientes objetivos específicos, todos ellos en el marco de un desarrollo sostenible. Dicho plan deberá garantizar la disponibilidad de agua requerida para asegurar la salud y la vida de la población, evitar o minimizar los efectos negativos de la sequía sobre el estado ecológico de las masas de agua, en especial sobre el régimen de caudales ecológicos, evitando, en todo caso, efectos permanentes sobre el mismo, minimizar los efectos negativos sobre el abastecimiento urbano y los efectos negativos sobre las actividades económicas, según la priorización de usos establecidos en la legislación de aguas y en los planes hidrológicos.

Para alcanzar los objetivos específicos se plantean los siguientes objetivos instrumentales u operativos:

- Definir mecanismos para la previsión y detección de la presentación de situaciones de sequía.
- Fijar umbrales para la determinación del agravamiento de las situaciones de sequía (fases de gravedad progresiva).
- Definir las medidas para conseguir los objetivos específicos en cada fase de las situaciones de sequía.

Ante la ocurrencia de sequias en la cuenca del río Conchos se hace indispensable disponer de herramientas útiles que suministren información y procedimientos para enfrentar el fenómeno cada vez más recurrente.

El plan de manejo de sequias de la cuenca del río Conchos deberá contener diversas acciones necesarias para el manejo efectivo de los recursos hídricos dentro de la cuenca durante un corto tiempo, mientras es reconocida la severidad de los impactos los cuales pueden variar ampliamente alrededor de los diferentes usuarios y deberán implementarse diversos niveles de acción los cuales deberán estar relacionados con los impactos generales de la sequía y la contabilidad del balance de humedad calculada por el área técnica del Consejo y/o Organismo de Cuenca.

Las características más importantes que deberá contener el *plan de contingencia por sequía* son:

- Monitoreo: Descripción de requerimientos de monitoreo para las acciones iniciales
- Identificación: Identificación de las acciones oportunas que pueden llevarse a cabo para el manejo de situaciones de sequía
- Implementación de mecanismo: Establecimientos de mecanismos para uso apropiado de la implementación de acciones
- Coordinación: identificación de órganos de comunicación, métodos y calendario de coordinación con otras dependencias y organizaciones (tan importantes durante la ocurrencia de la crisis)
- Convenios: Desarrollo de convenios para intercambio o venta del recurso durante situaciones de sequía.

Esto incluye una descripción de cómo se determinan los costos y cualquier procedimientos para el intercambio de aguas.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS

2.1. Información básica

La cuenca del río Conchos es uno de los sistemas ribereños más importantes de todo el norte de México. El río Conchos pertenece a la vertiente del golfo de México y forma parte de la cuenca del río Bravo. La cuenca del río Conchos forma el área de aportación más grande de las corrientes mexicanas que descargan al río Bravo. Tiene una superficie de escurrimiento de 65,770 kilómetros cuadrados, (DOF, 2011). La información

básica utilizada en este trabajo es producto de la recopilación de información en diversas dependencias del Gobierno Federal y de los gobiernos estatales, la cual fue revisada seleccionando los datos más verosímiles para la ilustración de los subsistemas. La cuenca de estudio comprende parte del estado de Chihuahua y una pequeña parte del estado de Durango, ya que el río Conchos nace al suroeste del Estado de Chihuahua con dos afluentes principales en este estado, el río San Pedro y el río Chuvíscar, el otro afluente principal es el río Florido, que nace en el estado de Durango, como se puede ver en la figura 2.1.

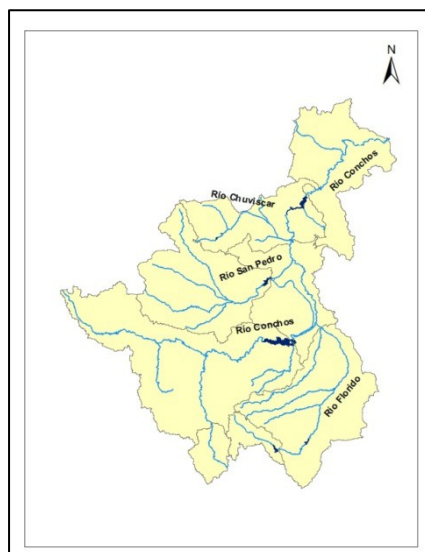


Figura 2.1. Ubicación de la cuenca del río Conchos.

2.2. Fisiografía e hidrografía

El presente estudio asume como sistema hidráulico general para la cuenca del río

Conchos el que se muestra en el diagrama unifilar descrito en la figura 2.2.

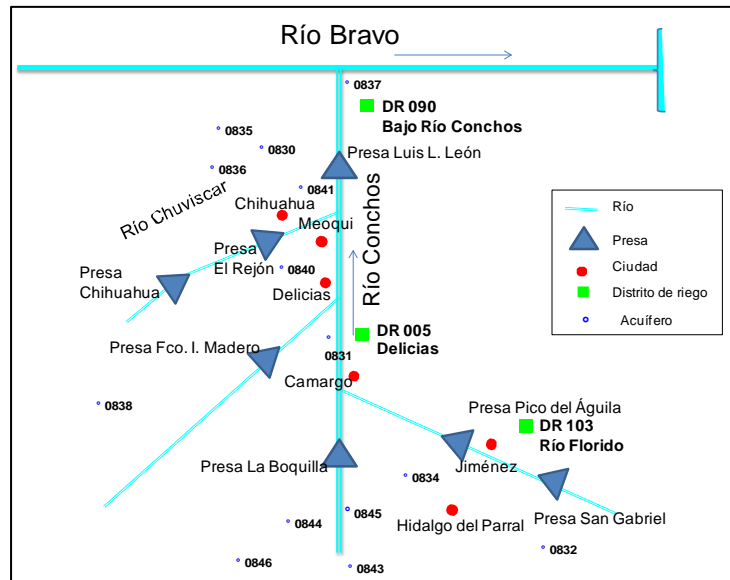


Figura 2.2. Diagrama unifilar de la cuenca del río Conchos.

Infraestructura hidráulica

En la zona de estudio existen varias presas, sin embargo, para este trabajo se consideraran los siete principales almacenamientos destinados principalmente al riego agrícola, demanda urbana y control de avenidas. En la

figura 2.3 se muestra su ubicación física, mientras que en la tabla 2.1 se presentan además algunos otros datos sobre su ubicación y uso principal.

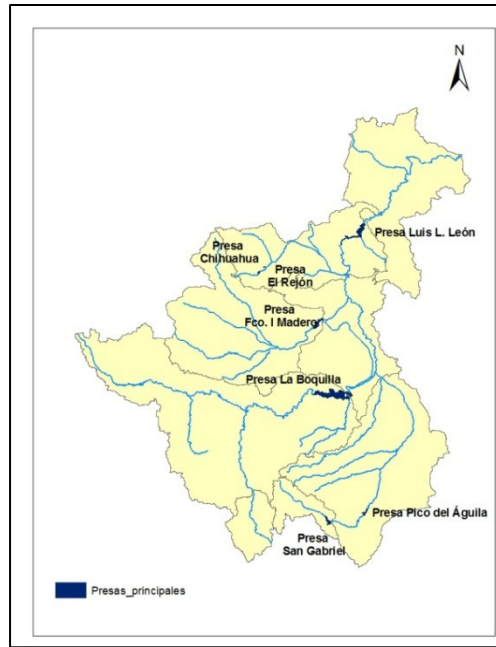


Figura 2.3. Principales almacenamientos de la cuenca.

Tabla 2.1. Ubicación y uso principal de las presas de almacenamiento.

No.	Nombre oficial	Nombre común	Año de terminación	Región Hidrológica	Región Hidrológica Administrativa	Municipio, Estado	Uso	Corriente en la que se ubica la presa
1	La Boquilla	Lago Toronto	1916	XXIV		San Francisco de Conchos, Chihuahua	I, G	Río Conchos
2	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	1949	XXIV		Rosales, Chihuahua	I, C	Río San Pedro
3	Chihuahua	Presa Chihuahua	1960	XXIV		Chihuahua, Chihuahua	A, I, C	Río Chuviscar
4	El Rejón	Presa El Rejón		XXIV		Chihuahua, Chihuahua		Arroyo el Rejón
5	Luis L. León	El Granero	1968	XXIV		Aldama, Chihuahua	I, C	Río Conchos
6	Federalismo Mexicano	San Gabriel	1981	XXIV		Ocampo, Durango	I	Río Florido
7	Pico del Águila	Pico del Águila	1993	XXIV		Coronado, Chihuahua	I	Río Florido

Fuente: Kelly, Mary E, 2001, El río Conchos: Un Informe Preliminar

Capacidad de presas

La capacidad de las presas de almacenamiento puede considerarse como un dato fijo o variable de decisión. En el primer caso, la justificación estriba en el hecho de que a nivel anteproyecto, se puede determinar la capacidad útil de una presa, de manera aislada al funcionamiento de las presas vecinas. Con este objetivo, generalmente se construye una curva extracciones-capacidades, para facilitar la selección de una capacidad útil en función de las extracciones seguras de la presa. En consecuencia, se dispone de ambas, una capacidad útil fija y una estimación del porcentaje de aprovechamiento del río asociado con cada capacidad útil (IMTA, 1991).

El segundo caso esta fincado en las distintas alternativas de construcción de las obras de toma y de excedencias. Consideraciones de tipos topográficas y geológicas conducen a ubicar las obras de toma por arriba de cierta elevación, lo cual aumenta la capacidad muerta y disminuye la capacidad útil. Similarmente, el emplazamiento del vertedor

de excedencias por abajo de cierta cota puede incrementar la capacidad de control de avenidas y disminuir la capacidad útil. Aún más, la capacidad total de la presa, determinada a nivel de anteproyecto, puede ser inferior a la máxima capacidad total físicamente factible; por tanto, la capacidad útil de una presa puede considerarse como variable de decisión en algunos casos (IMTA, 1991).

Las capacidades consideradas como datos fijos son: la capacidad muerta, la capacidad al nivel mínimo de operación (NAMINO), la capacidad al nivel de aguas máximo ordinario (NAMO) y la capacidad al nivel de aguas máximo extraordinario (NAME). Para el establecimiento de estos datos, se realizó un análisis de información proveniente de diferentes fuentes. En tabla 2.2 se presentan las capacidades de los principales almacenamientos que se analizan en este trabajo.

Tabla 2.2. Capacidades de los principales almacenamientos.

Nombre del embalse		Capacidades, hm ³		
Oficial	Común	Total referido al NAMO	Umbral de la obra de toma NAMIN	Útil referido al NAMO
La Boquilla	Lago Toronto	2903.36	113.05	2790.31
Francisco I. Madero	Las Vírgenes	348.00	5.28	342.72

Nombre del embalse		Capacidades, hm ³		
Oficial	Común	Total referido al NAMO	Umbral de la obra de toma NAMIN	Útil referido al NAMO
Chihuahua	Presa Chihuahua	25.84	2.04	23.8
El Rejón	Presa El Rejón	6.6	0.41	6.19
Luis L. León	El Granero	356.00	40.00	316.00
Federalismo Mexicano	San Gabriel	255.43	7.40	248.03
Pico del Águila	Pico del Águila	51.11	4.41	46.7

Fuente: Estudio técnico de la región hidrológica No. 24 Bravo-Conchos (DOF, 2011)

Curvas capacidad-área-elevación de las presas

Con la finalidad de incluir en el proceso de simulación el cálculo de la evaporación, se requiere contar con la información que relaciona el área de inundación o la elevación

con el almacenamiento, en las figuras 2.4 a 2.10 se presentan las curvas de cada una de las presas incluidas en la simulación, las curvas fueron obtenidas del BANDAS.

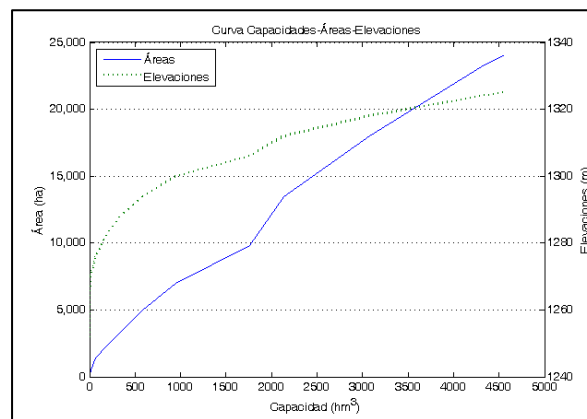


Figura 2.4. Curva área capacidad de la presa La Boquilla.

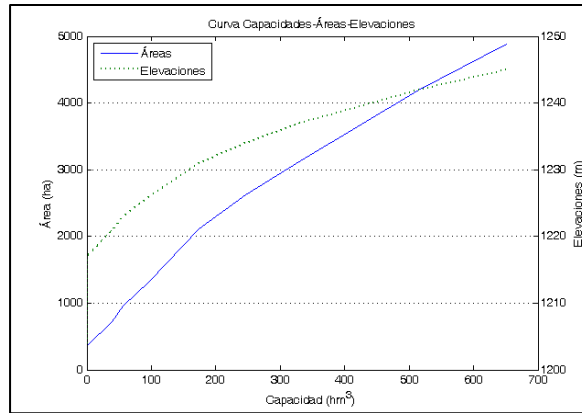


Figura 2.5. Curva área capacidad de la presa Fco. I. Madero.

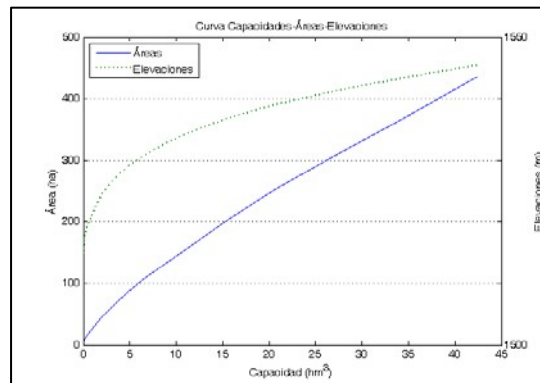


Figura 2.6. Curva área capacidad de la presa Chihuahua.

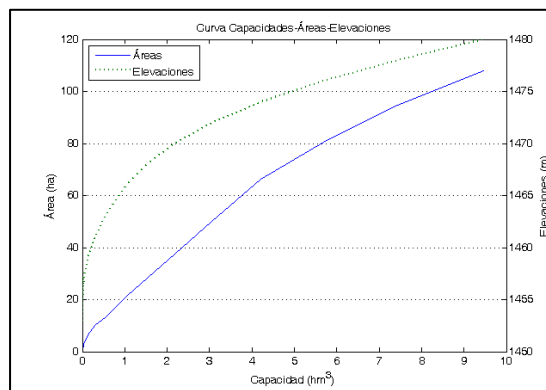


Figura 2.7. Curva área capacidad de la presa El Rejón.

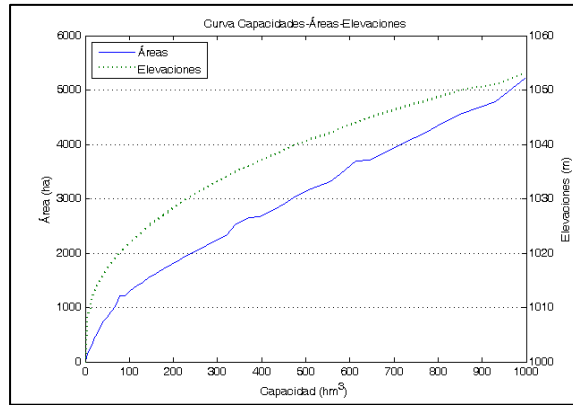


Figura 2.8. Curva área capacidad de la presa Luis L. León.

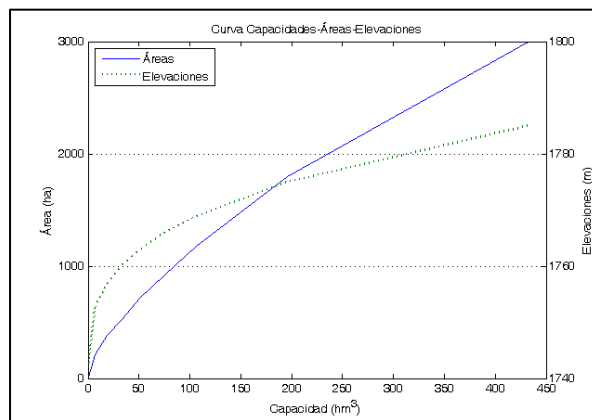


Figura 2.9. Curva área capacidad de la presa San Gabriel.

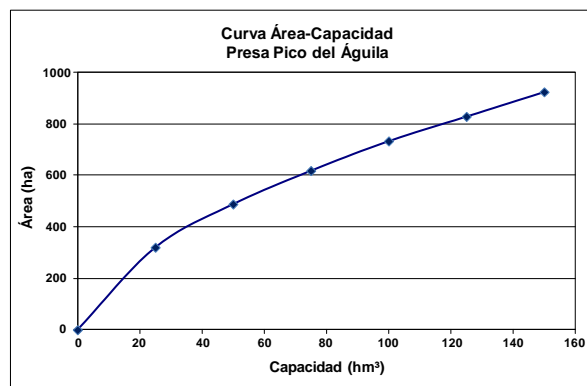


Figura 2.10. Curva área capacidad de la presa Pico del Águila

2.3. Oferta de recursos hídricos

Escurremientos

Para modelar el funcionamiento hidrológico de una presa, es necesario conocer los volúmenes de escurrimiento de ingreso a las

presas. En este trabajo se utilizaron los registros históricos de escurrimiento que fueron obtenidos del BANDAS.

En las figuras 2.11 a 2.13 se presenta el escurrimiento anual que ingresa a los ríos

Florida, Conchos y San Pedro y en la figura 2.14 es escurrimiento por cuenca propia de la presa Luis L León. No se cuenta con registros aguas abajo de la salida de la presa Luis L León.

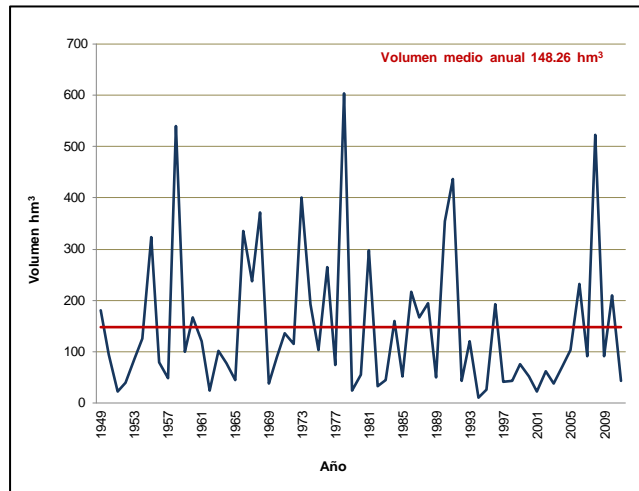


Figura 2.11. Escurrimiento anual que ingresa por el río Florida.

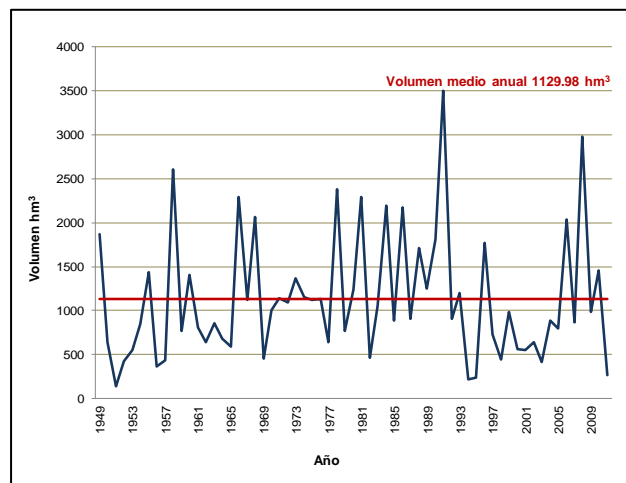


Figura 2.12. Escurrimiento anual que ingresa por el río Conchos.

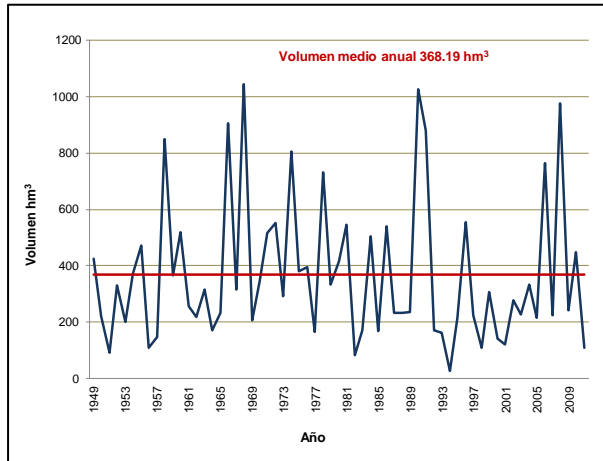


Figura 2.13. Escorrentamiento anual que ingresa por el río San Pedro.

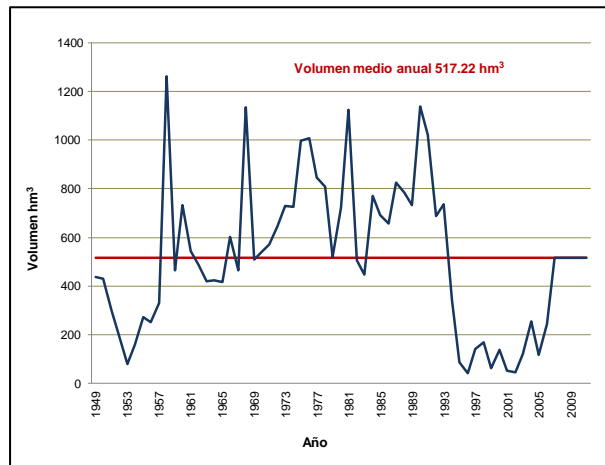


Figura 2.14. Escorrentamiento por cuenca propia de la presa Luis L León.

Evaporación

Para realizar la simulación del sistema de forma adecuada es necesario incorporar el efecto ocasionado por la evaporación, es necesario conocer la lámina de evaporación mensual registrada en cada uno de los

almacenamientos considerados en la modelación.

En la tabla 2.3 se muestra la lámina de evaporación promedio en los principales almacenamientos.

Tabla 2.3. Lámina de evaporación promedio en los principales almacenamientos.

Presa	Evaporación promedio, (m)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Boquilla	0.07	0.099	0.168	0.203	0.228	0.209	0.124	0.077	0.071	0.103	0.085	0.062
Francisco I. Madero	0.072	0.105	0.16	0.179	0.196	0.136	0.086	0.065	0.048	0.076	0.081	0.068
Chihuahua												
El Rejón												
Luis L. León	0.072	0.105	0.176	0.212	0.239	0.213	0.128	0.097	0.073	0.103	0.088	0.066
San Gabriel	0.063	0.094	0.15	0.172	0.189	0.13	0.038	0.004	0.014	0.079	0.073	0.057
Pico del Águila	0.063	0.094	0.15	0.172	0.189	0.13	0.038	0.004	0.014	0.079	0.073	0.057

Precipitación

Para realizar la simulación del sistema es necesario incorporar el volumen adicional de ingreso a las presas producto de la precipitación sobre los almacenamientos. Por lo que es necesario conocer la precipitación mensual promedio registrada en cada uno de los almacenamientos considerados en la

modelación. En la tabla 2.4 se muestra la lámina de precipitación promedio en los principales almacenamientos.

Tabla 2.4. Lámina de precipitación promedio en los principales almacenamientos.

Presa	Precipitación promedio, (mm)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Boquilla	6.68	4.53	2.42	4.92	11.12	32.99	68.67	66.71	63.74	19.04	5.44	6.94
Francisco I. Madero	7.49	4.45	3.18	7.24	11.07	32.13	71.33	71.45	67.20	25.12	5.96	8.86
Chihuahua	10.87	4.53	3.40	8.76	15.02	35.06	89.73	106.82	84.29	30.07	7.26	8.37
El Rejón	7.50	5.34	3.95	9.64	21.43	54.84	97.41	103.16	78.86	28.98	9.65	10.59
Luis L. León	6.20	3.76	2.69	6.08	7.92	23.95	58.55	57.21	52.60	16.87	6.32	7.33
San Gabriel	10.28	4.47	4.66	6.29	14.03	49.22	106.22	118.53	100.35	26.85	9.41	10.83
Pico del Águila	10.27	3.90	3.58	9.08	19.61	66.95	123.43	118.75	94.08	31.61	7.82	7.47

Acuíferos en la cuenca

Existen varios acuíferos de gran importancia en la cuenca del río Conchos, cuya agua se utiliza para satisfacer las necesidades

domésticas, agrícolas e industriales (tabla 2.5). Asimismo, estas aguas son esenciales para garantizar el flujo básico de muchos riachuelos, abrevaderos, y manantiales.

Tabla 2.5. Acuíferos de la cuenca Río Conchos.

NO.	CLAVE	ACUÍFERO	ÁREA Km ²
1	0830	CHIHUAHUA-SACRAMENTO	1889.00
2	0831	MEOQUI-DELICIAS	4830.00
3	0832	JIMENEZ-CAMARGO	9948.00
4	0834	PARRAL-VALLE DEL VERANO	1620.00
5	0835	TABALAOPA-ALDAMA	728.00
6	0836	ALDAMA-SAN DIEGO	1620.00
7	0837	BAJO RIO CONCHOS	8830.00
8	0838	ALTO RIO SAN PEDRO	11088.00
9	0840	VILLALBA	1908.00
10	0841	POTRERO DEL LLANO	2492.00
11	0843	BOCOYNA	7331.00
12	0844	VALLE DE ZARAGOZA	4036.00
13	0845	SAN FELIPE DE JESUS	2741.00
14	0846	CARICHI-NONOAVA	6992.00
15	1007	PROVIDENCIA	852.00
16	1008	CABRERA-OCAMPO	1689.00
17	1014	TORREON DE CAÑAS	662.00

En la figura 2.15 se muestra la ubicación de los acuíferos comprendidos dentro de la cuenca y en la tabla 2.6 se presenta el

volumen anual de extracción, recarga, disponibilidad y déficit existente.

Tabla 2.6. Volumen de extracción, recarga, disponibilidad y déficit de los acuíferos de la cuenca del río Conchos.

CLAVE	NOMBRE	Extracción anual (hm ³)	Descarga natural comprometida (hm ³)	Recarga anual (hm ³)	Disponibilidad (hm ³)	Déficit (hm ³)	Año publicado
0830	CHIHUAHUA-SACRAMENTO	101.738	0.000	56.20	0.00	-45.54	2010

CLAVE	NOMBRE	Extracción anual (hm³)	Descarga natural comprometida (hm³)	Recarga anual (hm³)	Disponibilidad (hm³)	Déficit (hm³)	Año publicado
0831	MEOQUI- DELICIAS	395.620	0.000	211.20	0.00	-184.42	2009
0832	JIMENEZ- CAMARGO			*440.004			
0834	PARRAL-VALLE DEL VERANO	23.530	0.000	26.70	3.17	0.00	2009
0835	TABALAOPA- ALDAMA	61.040	4.300	76.50	11.16	0.00	2008
0836	ALDAMA-SAN DIEGO	35.920	1.500	62.50	25.08	0.00	2008
0837	BAJO RIO CONCHOS			*90.00			
0838	ALTO RIO SAN PEDRO	14.570	29.100	56.30	12.63	0.00	2009
0840	VILLALBA	5.130	4.400	17.50	7.97	0.00	2008
0841	POTRERO DEL LLANO	0.002	8.500	23.70	15.20	0.00	2008
0843	BOCOYNA			*17.004			
0844	VALLE DE ZARAGOZA			*12.996			
0845	SAN FELIPE DE JESUS			*8.004			
0846	CARICHI- NONOAVA			*8.004			

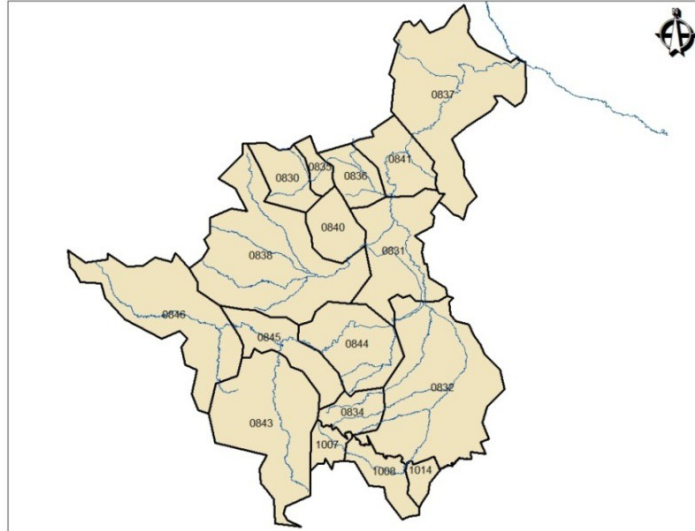


Figura 2.15 Acuíferos comprendidos en la cuenca del río Conchos.

2.4. Usos y demandas de agua

Se identifican como usos consuntivos en la región los usos público urbano, industrial, agrícola y el volumen correspondiente al pago del Tratado. Así mismo existen como usos no

consuntivos la generación de energía eléctrica por medio de las hidroeléctricas y la acuicultura. En las tablas 2.7 a 2.10 se presentan los volúmenes anuales utilizados por cada uso.

Tabla 2.7. Volúmenes de extracción destinados para uso agrícola.

Distritos de riego			Unidades de riego			Totales		
Volumen, (hm ³ /año)			Volumen, (hm ³ /año)			Volumen, (hm ³ /año)		
Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total
1,393.21	230.30	1,623.51	400.32	289.50	689.82	1,793.54	519.80	2,313.34

Tabla 2.8. Volúmenes de extracción destinados para uso público urbano.

Volumen, (hm ³ /año)		
Superficial	Subterránea	Total
32.415	56.268	88.683

Tabla 2.9. Volúmenes de extracción para el uso industrial.

Volumen hm ³ /año		
Superficial	Subterránea	Total
2.838	23.948	26.786

Tabla 2.10. Volúmenes de extracción para el uso en generación de energía eléctrica.

Volumen, (hm ³ /año)				
Planta	Tipo	Superficial		Total
		Consuntivo	No consuntivo	
La Boquilla	Hidroeléctrica	0	713.606	713.606
Fco. I. Madero	Hidroeléctrica	0	245.787	245.787
La Colina	Hidroeléctrica	0	741.739	741.739

En la modelación las demandas de agua en la cuenca se integraran por las demandas de las zonas agrícolas que utilizan el mayor volumen, y por el abastecimiento de agua potable para las ciudades más importantes localizadas en la cuenca, dado que la generación de energía eléctrica no es uso consuntivo no se considerará. En la zona de estudio existen tres distritos de riego (DR) que se abastecen tanto de agua superficial como subterránea, 11 unidades de riego abastecidas con agua subterránea y cinco ciudades con población mayor a los 15,000

habitantes, por lo que serán las que se consideraran en el modelo de simulación. En la figura 2.16 se presenta la ubicación de las principales ciudades y los distritos de riego.

Zonas de riego

En la zona de estudio existen tres distritos de riego (DR) que se abastecen tanto de agua superficial como subterránea, 11 unidades de riego abastecidas con agua subterránea. Los tres distritos de riego consideran que el 25% del volumen entregado será retornado al sistema, IMTA 2007.



Figura 2.16. Principales zonas de demanda en la cuenca del río Conchos.

Tabla 2.11. Superficie regable y concesiones de los DR existentes.

Distrito de riego	Superficie regable (hectáreas)	Volumen máximo (hm³)	Fuente de abastecimiento	Perdidas de conducción %
DR005 Delicias	79,555	1130.546	Fco. I. Madero (*18.5% de la demanda) La Boquilla (*81.5 % de la demanda)	19.76
DR090 Bajo Río Conchos	10,715	84.99011	Luis L. León	21
DR103 Río Florido	8,278	106.68	San Gabriel Pico del Águila	5

En la tabla 2.12 se presentan las superficies y los volúmenes concesionados a los distritos de riego existentes y se muestra el volumen utilizado por las unidades de riego. En las

Unidades de pequeño riego (tabla 2.12) se consideró una eficiencia de conducción del 100%, por lo que no se consideraron pérdidas ni volúmenes de retornos, IMTA, 2007.

Tabla 2.12. Volumen utilizado por las UR.

No.	Unidad de riego	Volumen de agua subterránea concesionado (hm ³)
1	Bocoyna	0.15
2	Parral Valle del Verano	8.76
3	Jiménez Camargo	559
4	Valle de Zaragoza	0.08
5	Carichi Nonoava	0.82
6	Laguna de Mexicanos	21.4
7	Alto río San Pedro	11
8	Chihuahua Sacramento	44.49
9	Meoqui Delicias	220.861
10	Aldama San Diego	20.7
11	Bajo Río Conchos	10.93
	Total	898.191

Distribución mensual de la demanda en las zonas de riego

La cantidad de agua requerida en cada zona de riego depende de la extensión de tierra, del padrón de cultivo, de la eficiencia de conducción en la red de canales de distribución, del clima del lugar y del tipo de suelo. En este trabajo los requerimientos hídricos de los cultivos se expresaran en una distribución mensual que contiene implícitos

los efectos del clima y del tipo de suelo de cada lugar.

Los patrones de distribución mensual de la demanda fueron obtenidos del estudio “Implementación del modelo de gestión de la cuenca binacional del río Grande/Bravo en la plataforma Weap”, desarrollado por el IMTA en 2007. En la tabla 2.13 se presentan los patrones de distribución mensual utilizados en cada zona de riego.

Tabla 2.13. Patrón de distribución mensual de la demanda para los DR.

Distrito de riego	Distribución de la demanda, %												
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
DR005	6.47	0.65	0.4	7.42	7.47	12.65	13.22	10.31	12.9	12.66	9.69	6.16	100
DR090	4.07	4.47	6.02	8.78	9.47	10.19	11.07	9.33	11.32	11	8.95	5.33	100
DR103	2.37	2.76	1.97	2.96	5.49	5.45	10.72	17.74	17.84	14.09	13.72	4.89	100

Para el caso de los patrones de distribución de la demanda en las unidades de riego, se utiliza el patrón de distribución del distrito de riego más próximo a cada zona.

Agua potable (Uso urbano)

En la modelación se consideraran cinco zonas de demanda de agua potable para abastecer a diferentes ciudades y comunidades utilizando agua subterránea. En la tabla 2.14 se presenta

el volumen concesionado a cada una de estas zonas así como el acuífero del que se abastecen

Tabla 2.14. Concesión para agua potable en la zona.

Ciudad	Estado	Núm. habitantes	Volumen anual máximo (hm ³)	Acuífero
Camargo	Chihuahua	37,456	11.08	0832
Chihuahua	Chihuahua	65,7876	2.31	0835
Delicias	Chihuahua	98,615	22.58	0831
Hidalgo del Parral	Chihuahua	98,876	11.93	0834
Jiménez	Chihuahua	31,195	1.77	0832
Meoqui	Chihuahua	19,498	13.06	0831

Para el caso de la demanda de agua potable la distribución mensual se realizó de manera

constante, que es la forma como operan las ciudades.

Pago del volumen correspondiente al Tratado

Se considerará que con el agua procedente del río Conchos se pagara el 50% del volumen que deberá pagar México a Estados Unidos. Con una distribución constante a lo largo del año.

De los resultados anteriores se observa que el déficit presentado por los distritos de riego al incrementar el efecto de la sequía se pueden cubrir con agua subterránea, no obstante que al utilizar una política tipo GASIR se está garantizando en estos periodos de escases únicamente el 50% del volumen concesionado.

2.5. Caracterización de sequías históricas

Desde un enfoque meramente físico de la ocurrencia del fenómeno, el análisis histórico de las sequías puede obtenerse a partir de aplicar un método de detección y evaluación del fenómeno. Así, con el uso del SPI, por ejemplo, si se cuenta con registros meteorológicos de lluvia lo suficientemente extensos al menos 20 años y de preferencia 30, para diversos puntos dentro de la cuenca del río Conchos, los valores obtenidos del SPI a escalas temporales convenientes, pueden graficarse para identificar los periodos deficitarios.

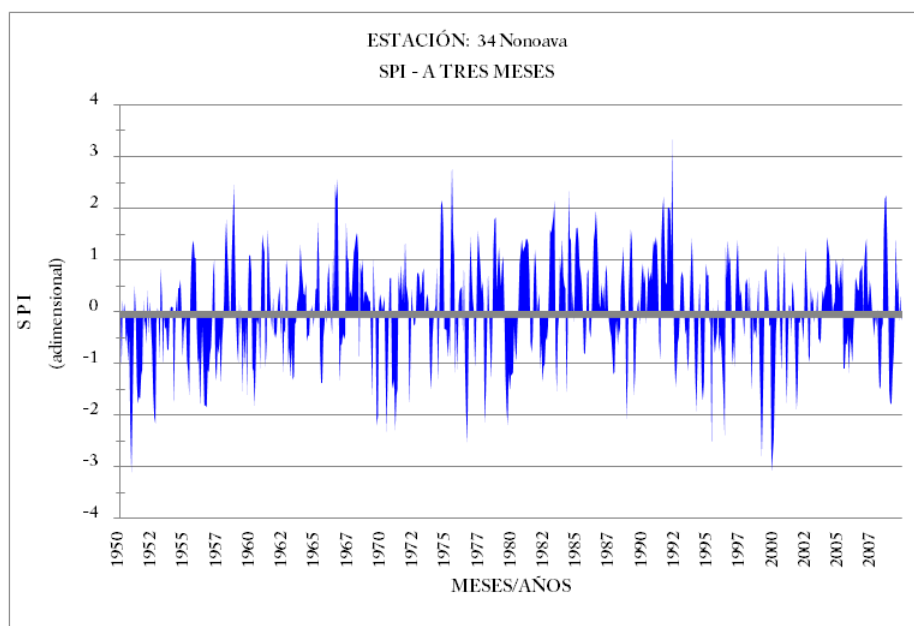


Figura 2.17. Representación temporal del SPI3 para un punto de la malla en la subcuenca alta.

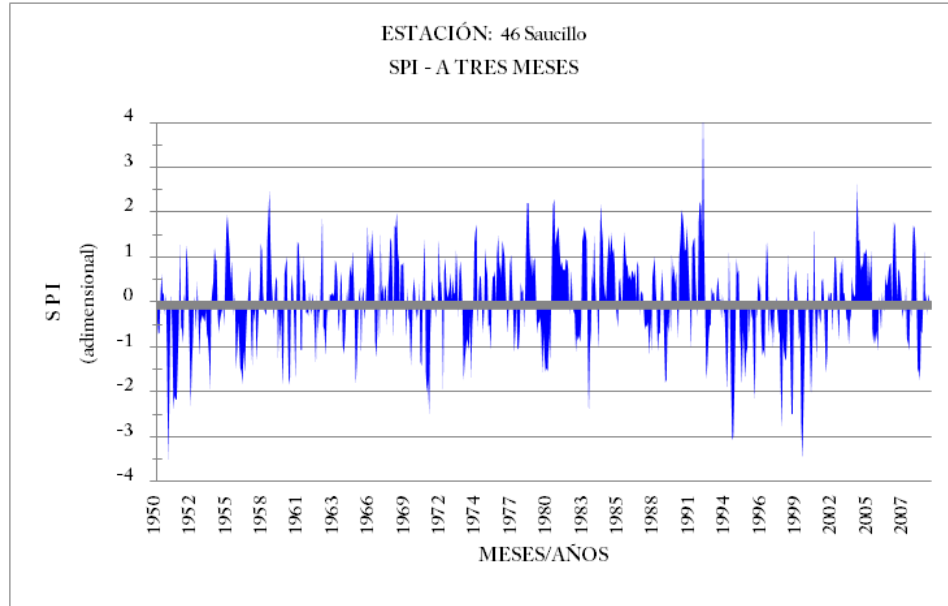


Figura 2.18 Representación temporal del SPI3 para un punto de la malla en la subcuenca media.

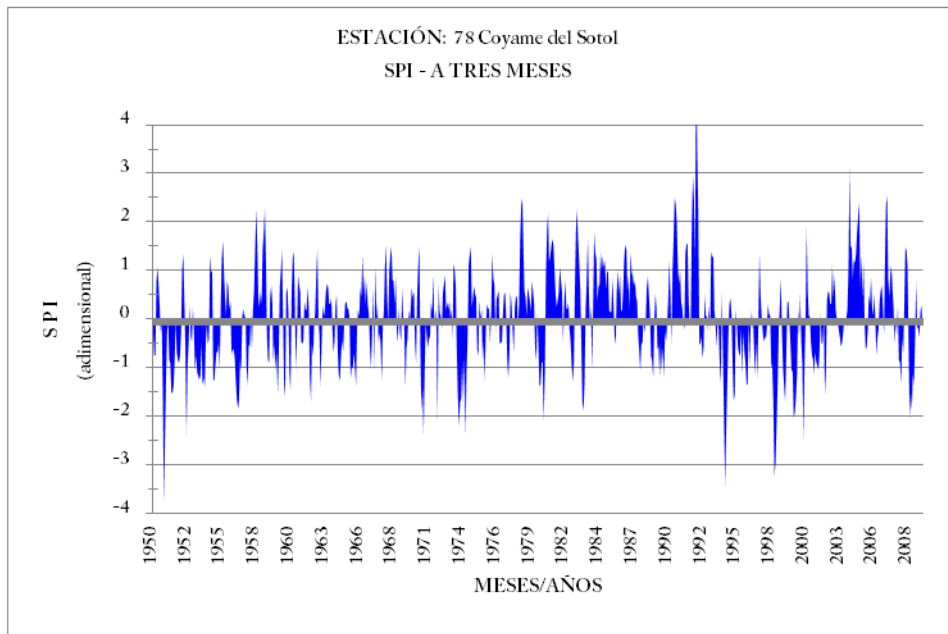


Figura 2.19 Representación temporal del SPI3 para un punto de la malla en la subcuenca baja.

Estas 3 figuras muestran, para el periodo del que se dispone de información mensual de lluvia, el SPI a escala temporal de 3 meses (SPI3); en ellas, los valores negativos del

índice indican deficiencias en las lluvias y por ende, un probable periodo de sequía, mientras que los valores positivos significan lluvias

abundantes y por consiguiente condiciones de humedad superiores a lo normal.

Se elige la escala temporal de 3 meses por considerarse que es la más representativa, por el hecho de que, en general, el periodo lluvioso más significativo en el país es el verano, y más específicamente los tres meses julio-agosto-septiembre. Así entonces, si para todo el periodo con datos de lluvia y valores calculados del SPI3, se consideran los valores del índice a septiembre de cada año, estos representarán el comportamiento estandarizado de la lluvia en ese periodo trimestral, julio-agosto-septiembre: si los

valores son positivos, indicarán que las lluvias fueron superiores a lo normal, o normales si están en el rango +1.0 a -1.0; estrictamente, mientras más se acerquen a -1.0, habrá indicios de tendencia hacia el déficit, y mientras más grandes a 0.0, significará más tendencia hacia la abundancia.

Bajo estas premisas y considerando los valores convencionales del SPI (McKee, 1993), una visión en conjunto para estos tres puntos de la cuenca, y para un periodo más corto -1980 a 2009), el comportamiento del SPI3 se muestra en la siguiente gráfica.

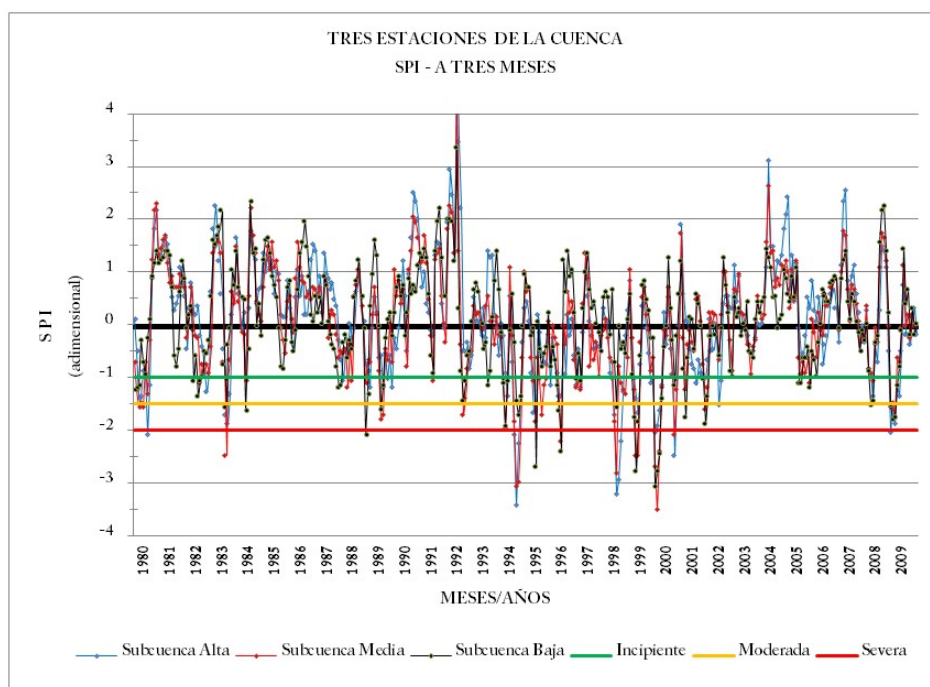


Figura 2.20 Representación conjunta del SPI3 para tres puntos de la malla, representativos de la cuenca, periodo 1980-2009.

En la figura 2.20, con líneas horizontales se muestran los valores convencionales del SPI

que indican las diferentes categorías de la sequía: $0.0 < \text{SPI} < -1.0$ para condiciones

normales, $-1.0 < \text{SPI} < -1.5$ para sequía incipiente, $-1.5 < \text{SPI} < -2.0$ para sequía moderada, y $\text{SPI} < -2.0$ para sequía severa.

Se aprecia que, a pesar de lo extenso de la cuenca (más de 60,000 km²), el comportamiento estimado de la lluvia en este periodo 1980-2009 es muy similar en los tres puntos considerados de la malla del CRU, y que en general tienen tendencias muy similares.

Así, puede decirse que en 1980 hubo un periodo de sequía, de incipiente a moderado, en 1983 un periodo corto pero intenso de sequía que incluso alcanzó niveles de severo; durante 1987 a 1989 también hubo periodos deficitarios moderados. En los primeros años de la década de 1990 hubo condiciones de abundancia, quizá las más significativas del periodo, seguido por un amplio periodo, de 1993 hasta prácticamente 2003, en que los valores del índice estuvieron frecuentemente debajo de cero, alcanzando valores incluso tan negativos como para fases moderadas, severas y críticas ($\text{SPI} < -2.0$), tal como se ha documentado, como la gran sequía de los 90's.

En el año 2004 se presenta un periodo de relativa abundancia e toda la cuenca, que decae a valores negativos moderados durante el 2005; en 2006 y 2007 vuelve a haber una cierta recuperación, que decae nuevamente a

valores negativos a fines de 2007; en 2008, en su primera parte, hay una súbita recuperación, que también de la misma manera decae durante la segunda mitad de 2008, alcanzando valores de moderados a severos del índice; para 2009, las lluvias presentan una condición casi normal.

Así, con base en los valores del índice, puede decirse que en 1983 se presentó un periodo de sequía, de corta duración, apenas unos pocos meses; en 1988 y 1989 también se presentaron condiciones similares, un poco menos severas, pero más prolongadas; de 1993 a 2003 se ha presentado la sequía más intensa, severa y prolongada de todo este periodo, y que produjo impactos de consideración en todos los sectores productivos y sociales, algunos de los cuales aún perduran. Durante 2005-2006 hubo un periodo de ligeras deficiencias; a fines de 2007 e inicios de 2008, se presentó un breve periodo de anomalía, y a fines de 2008 y la primera mitad de 2009 se agudizó hasta valores cercanos a la severidad del índice.

Los efectos de la sequía, sobre todo los de tipo económico, y particularmente en el uso más demandado, el riego agrícola en los distritos de riego, se manifestó en la variación de las superficies sembradas y regadas.

En la cuenca existen tres distritos de riego (DR): el 005: Delicias, el 090: Bajo Río

Conchos, y el 103: Río Florido. De estos, el más importante, por superficie, volúmenes utilizados y volumen de producción, es el 005. Para este DR, en el periodo 1989-1990 a

2010-2011, el comportamiento de las superficies regadas es como se muestra en el siguiente gráfico.

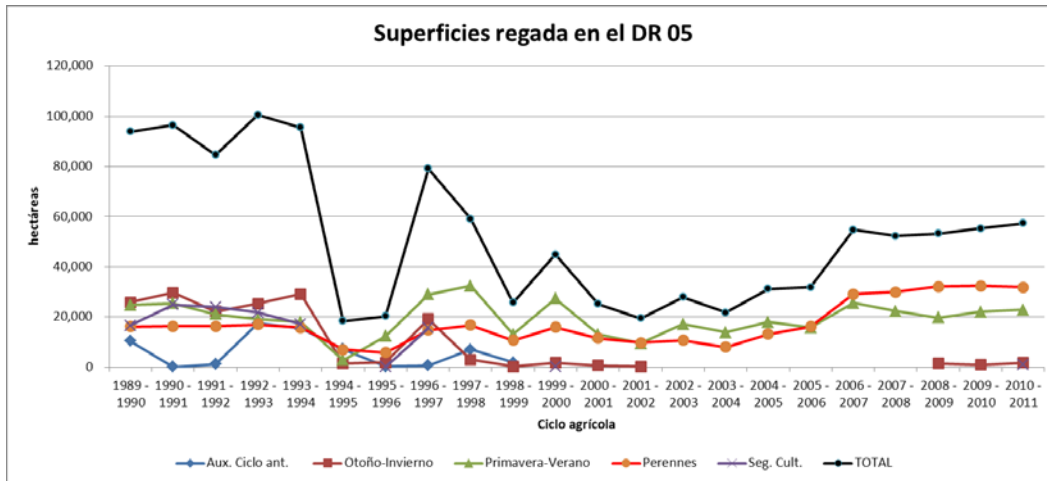


Figura 2.21 Superficies regadas por ciclo agrícola en el DR 005.

La siguiente gráfica muestra los correspondientes volúmenes totales (brutos) que se extrajeron de las presas –La Boquilla y

Francisco I. Madero– para regar esas superficies.

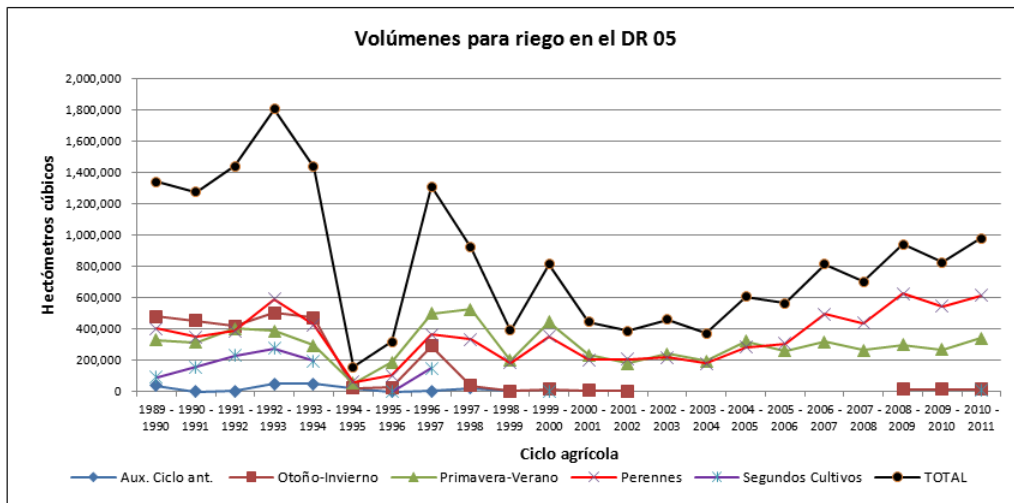


Figura 2.21 Volúmenes históricos de riego totales para el DR 005.

Como se puede apreciar de estas gráficas, en los años de abundancia se suministró agua

para todas las variantes de riego (auxilio a cultivos del ciclo anterior, otoño-invierno,

primavera-verano, perennes y segundos cultivos), mientras que en los años deficitarios solo hubo agua para cultivos de primavera-

verano y perennes, pues no hubo suficiente para más.

Para los tres DR de la cuenca, las superficies y volúmenes regados en ese periodo fueron:

Tabla 2.15. Superficies y volúmenes históricos de riego en DR de la cuenca del río Conchos

AÑO AGRICOLA	SUPERFICIE REGADA (HA)						VOLUMEN BRUTO PARA RIEGO (Miles m3)					
	Aux. Ciclo ant.	Otoño-Invierno	Primavera-Verano	Perennes	Segundos Cultivos	TOTAL	Aux. Ciclo ant.	Otoño-Invierno	Primavera-Verano	Perennes	Segundos Cultivos	TOTAL
1989-1990	12,683	30,846	29,718	18,940	17,871	110,058	44,844	576,865	380,049	466,273	101,033	1,569,065
1990-1991	2,201	33,810	30,345	18,722	27,004	112,082	17,325	558,493	377,524	410,331	170,841	1,534,513
1991-1992	2,699	24,592	26,180	18,232	25,015	96,718	9,341	475,476	493,113	436,797	241,446	1,656,173
1992-1993	19,384	28,911	23,913	19,115	22,294	113,617	56,687	603,224	458,105	652,551	278,583	2,049,150
1993-1994	20,049	32,800	23,141	18,028	18,597	112,615	104,632	555,703	387,537	490,639	210,830	1,749,341
1994-1995	8,961	4,119	5,320	9,460	221	28,080	26,654	86,985	91,224	133,191	2,385	340,439
1995-1996	1,076	1,955	15,611	7,626	60	26,327	3,056	28,375	234,315	136,724	723	403,193
1996-1997	1,066	22,018	34,725	17,303	16,985	92,097	3,737	342,514	583,609	425,272	161,932	1,517,064
1997-1998	8,059	4,668	37,309	19,086	285	69,407	24,879	72,763	594,877	392,300	3,492	1,088,311
1998-1999	1,832	1,165	16,288	13,708	145	33,138	3,349	20,570	247,292	255,757	1,360	528,327
1999-2000	0	2,717	30,182	19,341	161	52,400	0	33,027	479,922	419,686	1,281	933,916
2000-2001	0	1,338	14,697	14,482	59	30,576	0	16,520	257,716	269,051	714	544,001
2001-2002	0	889	10,356	11,683	0	22,928	0	19,537	190,489	255,155	0	465,180
2002-2003	0	503	19,785	13,355	0	33,643	0	9,065	280,284	280,012	0	569,360
2003-2004	0	522	16,799	10,544	0	27,864	0	3,392	231,725	232,720	0	467,838
2004-2005	0	628	21,138	16,187	186	38,139	0	5,844	364,336	366,199	1,907	738,286
2005-2006	0	661	18,361	20,321	313	39,656	0	5,565	287,010	391,107	2,341	686,022
2006-2007	0	797	28,694	33,795	128	63,414	0	6,096	359,274	590,176	733	956,279
2007-2008	0	805	25,352	34,902	259	61,317	0	7,299	290,106	529,401	2,333	829,139
2008-2009	0	2,240	22,808	37,307	150	62,504	0	24,668	334,151	743,995	1,582	1,104,396
2009-2010	0	1,848	26,080	37,455	121	65,504	0	23,072	306,196	648,951	1,903	980,122
2010-2011	0	2,803	25,591	37,513	1,129	67,037	0	28,759	376,867	749,269	10,433	1,165,328

Sus correspondientes gráficos se muestran en seguida.

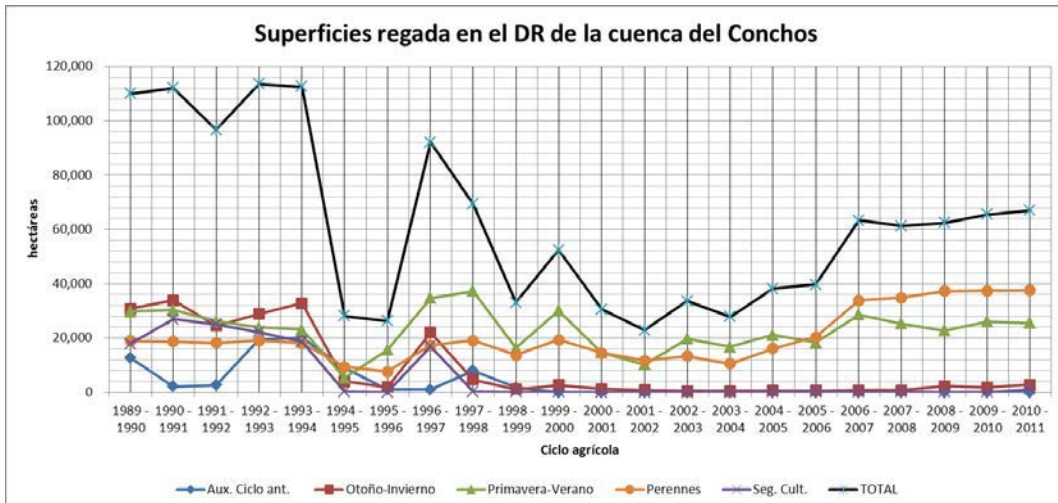


Figura 2.22 Superficies totales por ciclo y sub-ciclo agrícola en los DR de la cuenca del Conchos.

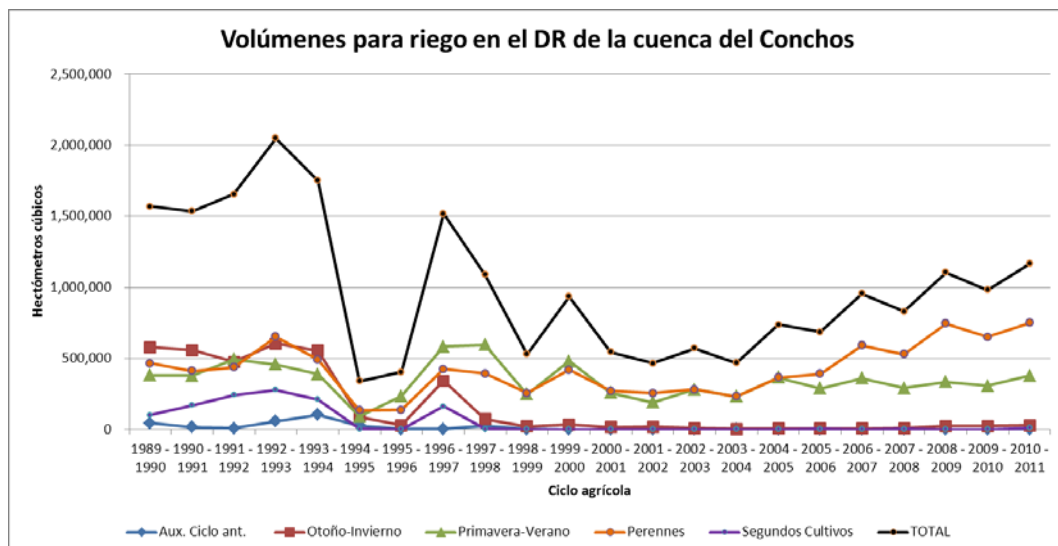


Figura 2.23 Volúmenes brutos extraídos para riego en los DR de la cuenca del Conchos.

Se aprecia entonces cómo, a nivel de cuenca y para el uso más demandante del agua superficial, existe una amplia variación en los volúmenes destinados al riego y las superficies regadas, llegando incluso a que en los periodos más críticos, no solo se supriman sub-ciclos de cultivo (segundos cultivos y

otoño-invierno), sino que los demás también sufran importantes reducciones y restricciones, por la insuficiencia de agua disponible en las fuentes de suministro.

Las pérdidas económicas, en el sector agrícola, se cuantifican básicamente en

volumen de producción no obtenido, por su correspondiente precio; además, por los jornales no ocupados y la disminución del ingreso en la fuerza de trabajo. También, en los periodos más críticos, por las cabezas de ganado muertas o sacrificadas o vendidas a bajo precio, la disminución de los hatos ganaderos, la baja en la comercialización e industrialización de productos agropecuarios, etc.

Directamente relacionado con la visión retrospectiva de la sequía, y como una manera adicional de su detección y evaluación, particularmente con la sequía hidrológica, está el SDI (*Streamflow Drought Index*), que, a semejanza del SPI, hace lo propio para los

escurrimientos superficiales de las corrientes. El proceso consiste básicamente en normalizar los valores mensuales de escurrimiento, y para ello frecuentemente se utiliza la transformación logarítmica, que en general es suficiente –a diferencia de la lluvia que es de carácter no auto correlacionado, los escurrimientos sí lo son, por lo que una simple transformación logarítmica es suficiente para suavizar los valores extremos y lograr la normalización–.

Así, para el caso de La Boquilla, la presa más importante y grande de la cuenca, los registros hidrométricos de entradas mensuales al vaso se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2.16 Aportaciones mensuales a la presa La Boquilla, hm³

AÑO HID	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	CICLO
1934-35				18.42	25.39	16.75	14.46	11.22	9.05	53.11	188.60	494.40	
1935-36	62.57	6.67	10.46	28.53	20.48	18.14	14.55	13.32	11.75	67.43	310.10	862.20	1426.20
1936-37	72.81	25.33	36.89	17.57	13.91	17.60	21.91	11.35	14.19	60.89	80.47	558.20	931.12
1937-38	46.89	9.51	15.20	26.31	10.15	22.66	14.81	27.88	109.10	844.90	296.30	1011.00	2434.71
1938-39	43.06	9.18	17.58	19.54	12.02	24.43	27.45	17.15	27.23	116.10	564.80	45.36	923.90
1939-40	54.94	21.17	128.10	41.27	27.44	22.02	23.18	27.13	43.21	32.65	247.00	110.70	778.81
1940-41	22.94	13.72	13.15	15.94	19.16	10.71	25.53	31.61	40.37	292.50	670.00	840.10	1995.73
1941-42	388.70	23.35	61.30	21.01	12.75	20.05	18.69	25.63	26.53	62.38	1176.00	857.80	2694.19
1942-43	1004.00	160.40	19.72	19.51	15.00	19.90	20.05	26.30	39.07	151.40	166.70	363.20	2005.25
1943-44	197.10	17.90	198.70	21.33	80.23	70.91	26.27	26.71	36.53	75.02	147.50	729.80	1628.00
1944-45	31.94	17.95	36.77	24.49	16.62	18.34	20.15	34.35	33.05	363.10	194.90	27.54	819.20
1945-46	176.90	13.98	13.41	12.85	13.68	20.92	22.78	16.10	33.24	80.10	120.20	286.90	811.06
1946-47	159.30	16.05	16.64	16.85	18.44	25.84	20.66	17.63	19.65	71.46	633.80	303.90	1320.22
1947-48	25.49	12.57	23.92	19.38	45.72	19.57	22.62	22.39	19.84	62.74	124.80	69.43	468.47
1948-49	27.40	9.02	13.12	451.80	56.62	23.34	15.35	15.68	20.47	330.40	407.60	415.00	1785.80
1949-50	90.69	15.68	21.86	53.92	28.36	22.66	18.16	22.05	19.69	188.40	125.10	111.20	717.77
1950-51	33.20	7.68	6.50	8.17	9.21	16.16	9.66	6.45	7.65	20.46	21.09	15.68	161.91
1951-52	5.85	4.28	12.68	7.05	4.53	8.47	3.84	1.22	20.60	306.20	50.95	9.67	435.34
1952-53	5.45	4.88	7.57	10.21	7.05	7.05	2.13	6.93	6.49	141.90	202.40	138.10	540.16
1953-54	12.19	9.81	4.54	10.62	8.58	5.29	4.67	5.80	28.52	125.10	415.70	113.50	744.32
1954-55	110.80	9.93	9.00	40.21	13.89	11.73	13.10	9.71	13.08	138.40	583.30	342.00	1295.15

AÑO HID	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	CICLO
1955-56	249.10	14.32	9.00	11.81	14.12	16.46	15.73	17.51	16.07	36.19	85.62	122.90	608.83
1956-57	11.63	10.99	6.18	12.77	13.59	12.16	16.98	15.87	16.58	64.25	157.50	87.15	425.65
1957-58	16.38	9.42	11.03	9.56	11.80	13.03	7.09	6.78	39.11	73.60	291.00	1539.00	2027.80
1958-59	577.60	25.87	13.37	16.99	26.98	14.18	16.01	29.40	17.71	57.34	457.90	74.07	1327.42
1959-60	14.82	7.32	33.94	455.20	35.72	27.26	16.91	18.42	23.92	157.00	508.80	120.00	1419.31
1960-61	19.71	13.86	7.78	18.84	20.23	17.02	21.07	18.86	45.71	185.70	191.80	226.00	786.58
1961-62	37.14	17.00	10.77	10.12	20.55	11.78	23.77	16.00	17.29	188.00	81.31	132.60	566.33
1962-63	114.90	10.38	10.95	9.64	13.90	11.36	16.76	15.04	23.01	72.74	254.60	270.80	824.08
1963-64	49.48	14.07	106.00	18.49	14.21	16.47	16.15	16.37	21.64	56.86	270.20	183.50	783.44
1964-65	42.07	12.28	14.10	10.64	9.20	11.25	12.06	12.24	10.76	59.19	139.60	264.30	597.69
1965-66	18.56	10.56	29.95	21.70	24.64	16.81	7.48	16.24	95.81	153.20	1303.00	573.80	2271.75
1966-67	49.19	16.86	9.61	16.13	20.62	25.50	20.86	27.89	53.66	215.70	295.90	333.80	1085.72
1967-68	59.89	16.14	34.90	22.74	46.35	78.02	32.43	28.25	22.18	610.60	404.70	697.60	2053.80
1968-69	94.14	13.91	14.29	16.06	23.88	21.10	24.01	21.91	29.09	192.20	54.49	42.71	547.79
1969-70	12.80	5.70	7.27	14.01	19.83	14.64	21.78	16.54	28.45	39.43	185.50	527.30	893.25
1970-71	110.20	12.10	16.20	13.50	15.88	21.40	14.39	18.36	17.73	107.90	520.00	93.43	961.09
1971-72	264.80	40.90	15.02	28.64	20.38	22.19	16.22	14.27	39.65	111.40	151.30	529.70	1254.47
1972-73	56.83	80.98	22.74	40.87	134.50	41.36	26.75	19.73	13.44	111.80	691.63	239.93	1480.56
1973-74	24.71	11.43	10.02	18.43	14.05	19.97	19.88	11.62	11.23	68.58	271.74	559.80	1041.46
1974-75	81.50	63.58	13.53	19.61	23.67	21.71	21.33	15.88	12.32	344.17	358.36	265.03	1240.69
1975-76	26.98	7.80	6.37	14.66	20.33	18.88	14.39	8.49	35.38	484.86	111.84	313.83	1063.81
1976-77	58.45	30.49	16.97	17.53	19.33	21.61	15.80	14.18	58.07	165.70	122.30	123.99	664.42
1977-78	68.60	11.98	0.50	16.05	19.07	11.99	96.83	24.84	101.74	42.85	469.06	1298.70	2162.21
1978-79	255.90	23.31	12.74	74.45	82.42	19.73	11.13	22.86	28.83	83.46	325.93	71.04	1011.80
1979-80	28.99	11.58	10.11	17.93	20.34	27.01	29.10	19.57	38.54	41.81	141.57	702.76	1089.31
1980-81	146.94	17.94	31.98	45.93	37.03	73.50	49.23	39.33	66.26	104.39	500.57	636.65	1749.75
1981-82	697.43	23.95	16.38	18.93	30.06	41.12	35.82	32.21	25.25	26.08	89.05	65.50	1101.78
1982-83	28.40	6.65	61.93	68.46	101.53	211.77	30.47	35.21	19.76	29.92	266.74	125.45	986.29
1983-84	86.18	37.73	42.36	25.33	44.88	24.88	27.83	53.86	391.37	350.98	704.14	365.50	2155.04
1984-85	56.13	12.33	136.84	152.14	75.37	26.27	38.39	35.69	20.25	87.38	118.55	225.35	984.69
1985-86	98.90	4.47	4.02	19.00	33.98	29.79	34.50	26.81	43.60	634.98	594.93	681.40	2206.38
1986-87	53.60	4.14	14.64	12.44	38.09	24.74	38.04	36.88	34.15	143.50	374.28	160.00	934.50
1987-88	39.20	5.90	3.63	28.90	34.00	17.63	40.60	24.42	30.70	420.80	858.50	203.50	1707.78
1988-89	34.10	10.03	11.24	44.20	63.10	32.80	35.80	17.20	23.20	30.40	514.44	447.80	1264.31
1989-90	26.40	3.10	13.19	11.57	7.34	23.81	20.57	19.70	12.90	271.50	774.06	335.86	1520.00
1990-91	276.15	6.97	52.44	235.67	28.70	12.68	7.38	11.92	17.04	583.42	1173.30	1200.80	3606.47
1991-92	103.80	21.95	95.49	248.94	157.11	35.58	31.85	33.90	15.89	39.93	206.72	99.44	1090.60
1992-93	17.19	7.94	8.64	10.05	5.19	30.10	12.54	10.83	19.62	162.76	185.10	645.94	1115.90
1993-94	57.80	44.37	12.07	12.87	9.66	11.12	5.86	18.11	12.22	15.23	41.78	41.39	282.48
1994-95	12.37	9.48	26.93	18.58	12.26	4.09	0.00	0.29	5.17	34.67	31.76	121.69	277.29
1995-96	8.87	2.16	1.83	4.05	1.00	1.72	0.09	0.47	10.35	120.76	824.75	749.50	1725.55
1996-97	26.33	13.88	18.30	13.54	18.11	16.06	33.06	46.62	20.09	103.34	333.62	75.12	718.07
1997-98	25.71	14.21	31.15	22.23	11.58	19.14	17.66	5.41	4.22	52.33	192.14	69.83	465.61
1998-99	33.85	11.77	6.79	8.05	8.06	4.36	5.09	4.06	15.77	326.99	390.51	193.52	1008.82
1999-00	12.94	8.62	6.72	8.85	9.46	9.00	8.57	14.07	75.16	149.53	54.16	29.92	387.00
2000-01	85.13	105.15	14.20	10.15	23.73	10.89	3.87	3.49	0.87	128.05	312.78	30.90	729.21
2001-02	11.35	7.26	5.51	7.78	11.10	5.91	6.37	13.83	24.96	162.24	360.31	26.88	643.50
2002-03	10.20	6.20	7.40	10.54	15.13	12.60	3.50	10.02	21.02	41.56	28.13	164.14	330.44
2003-04	91.93	8.87	6.36	13.34	9.52	19.10	13.91	8.49	9.95	49.36	192.92	83.76	507.51
2004-05	91.68	289.59	103.37	17.52	104.76	13.60	8.94	15.46	6.31	88.31	329.39	183.71	1252.64
2005-06	17.65	6.65	7.22	7.30	8.06	7.18	6.40	9.05	59.65	236.37	851.90	799.40	2016.83
2006-07	28.63	13.42	9.57	161.98	30.67	19.71	9.83	19.79	27.03	51.01	241.69	107.44	720.77

AÑO HID	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	CICLO
2007-08	150.54	10.59	35.68	13.12	21.31	37.90	14.76	22.34	13.62	330.71	829.96	1562.47	3043.00
2008-09	100.77	13.27	12.66	11.52	14.27	21.37	31.60	28.60	19.98	92.18	317.74	357.50	1021.46
2009-10	74.57	10.07	8.78	8.51	18.49	2.47	37.43	10.61	29.91	410.12	331.93	512.31	1455.20
2010-11	74.27	11.11	9.85	9.50	13.81	20.42	22.56	20.34	9.75	37.11	95.32	7.92	331.96
2011-12	11.89	7.03	8.84										
MINIMO	5	2	1	4	1	2	0	0	1	15	21	8	162
MAXIMO	1004	290	199	455	157	212	97	54	391	845	1303	1562	3606
MEDIO	97	22	25	40	28	23	20	19	32	164	347	356	1177
VARIANZA	24487	1488	1155	6493	812	660	190	109	2157	26446	79000	126246	466988
DES EST	156	39	34	81	28	26	14	10	46	163	281	355	683
SESGO	3.875	5.347	3.090	4.131	2.656	5.621	2.422	0.745	6.369	1.996	1.421	1.553	1.126
KURTOSIS	17.528	32.906	10.615	17.869	7.710	38.994	11.732	0.915	48.042	4.347	1.958	2.333	1.413
COEF VAR	62.31	55.85	73.99	49.84	97.66	89.79	143.91	180.45	69.44	100.82	123.34	100.19	172.23

Una representación gráfica de las aportaciones anuales a la presa se da en la Figura 2.24, en donde se aprecian las grandes variaciones interanuales y, en comparación con el valor

medio aritmético, los frecuentes y prolongados periodos en que esas aportaciones han estado abajo.

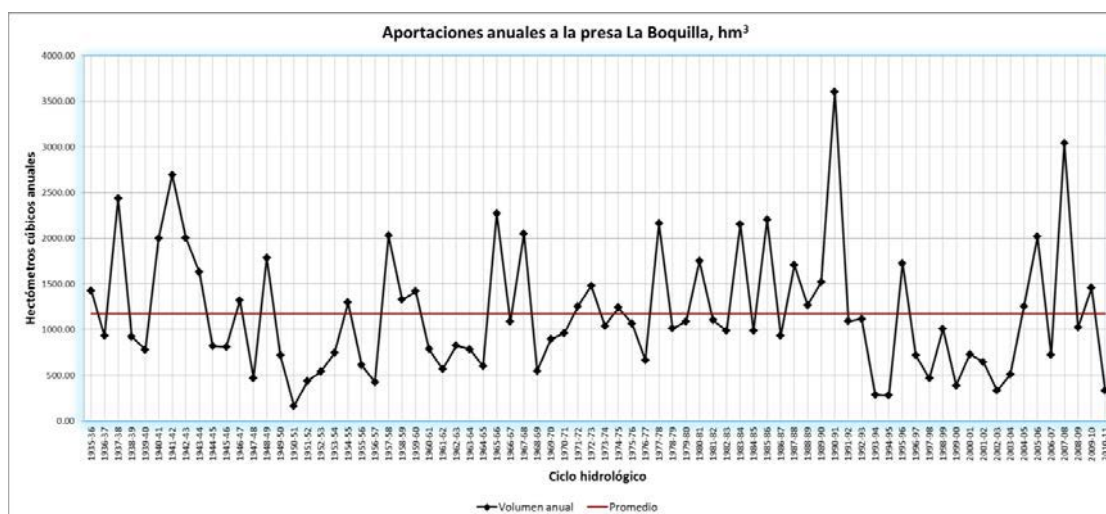


Figura 2.24 Aportaciones anuales (por ciclo agrícola) en hm^3 a la presa La Boquilla.

A partir de estos valores, los arreglos necesarios para obtener el SDI se muestran en la tabla siguiente

Tabla 2.17 Agrupación y transformación logarítmica de los valores históricos de aportaciones mensuales a la presa La Boquilla, y valores del SDI, por periodos trimestrales acumulados.

CICLO	VALORES NATURALES				LOGARITMOS NATURALES				SDI			
	OCT-DIC	OCT-MAR	OCT-JUN	OCT-SEP	OCT-DIC	OCT-MAR	OCT-JUN	OCT-SEP	OCT-DIC	OCT-MAR	OCT-JUN	OCT-SEP
1934-35												
1935-36	79.70	146.85	186.47	1,426.20	4.378	4.989	5.228	7.263	-0.148	-0.187	-0.396	0.576
1936-37	135.03	184.11	231.56	931.12	4.905	5.216	5.445	6.836	0.450	0.097	-0.079	-0.123
1937-38	71.60	130.72	282.51	2,434.71	4.271	4.873	5.644	7.798	-0.270	-0.333	0.211	1.452
1938-39	69.82	125.81	197.64	923.90	4.246	4.835	5.286	6.829	-0.298	-0.381	-0.311	-0.136
1939-40	204.21	294.94	388.46	778.81	5.319	5.687	5.962	6.658	0.919	0.688	0.677	-0.416
1940-41	49.81	95.62	193.13	1,995.73	3.908	4.560	5.263	7.599	-0.681	-0.725	-0.345	1.127
1941-42	473.35	527.16	598.01	2,694.19	6.160	6.268	6.394	7.899	1.873	1.417	1.308	1.618
1942-43	1,184.12	1,238.53	1,323.95	2,005.25	7.077	7.122	7.188	7.604	2.913	2.488	2.471	1.134
1943-44	413.70	586.17	675.68	1,628.00	6.025	6.374	6.516	7.395	1.720	1.550	1.487	0.793
1944-45	86.66	146.11	233.66	819.20	4.462	4.984	5.454	6.708	-0.053	-0.193	-0.066	-0.333
1945-46	204.29	251.74	323.86	811.06	5.320	5.528	5.780	6.698	0.920	0.489	0.411	-0.349
1946-47	191.99	253.12	311.06	1,320.22	5.257	5.534	5.740	7.186	0.849	0.496	0.352	0.449
1947-48	61.98	146.65	211.50	468.47	4.127	4.988	5.354	6.149	-0.433	-0.189	-0.212	-1.249
1948-49	49.54	581.30	632.80	1,785.80	3.903	6.365	6.450	7.488	-0.687	1.539	1.391	0.944
1949-50	128.23	233.17	293.07	717.77	4.854	5.452	5.680	6.576	0.391	0.393	0.265	-0.550
1950-51	47.38	80.92	104.68	161.91	3.858	4.393	4.651	5.087	-0.738	-0.935	-1.241	-2.991
1951-52	22.81	42.86	68.52	435.34	3.127	3.758	4.227	6.076	-1.567	-1.732	-1.860	-1.369
1952-53	17.90	42.21	57.76	540.16	2.885	3.743	4.056	6.292	-1.842	-1.751	-2.110	-1.016
1953-54	26.54	51.03	90.02	744.32	3.279	3.932	4.500	6.612	-1.395	-1.513	-1.461	-0.490
1954-55	129.73	195.56	231.45	1,295.15	4.865	5.276	5.444	7.166	0.405	0.172	-0.080	0.418
1955-56	272.42	314.81	364.12	608.83	5.607	5.752	5.897	6.412	1.246	0.770	0.583	-0.820
1956-57	28.80	67.32	116.75	425.65	3.360	4.209	4.760	6.054	-1.302	-1.166	-1.081	-1.406
1957-58	36.83	71.22	124.20	2,027.80	3.606	4.266	4.822	7.615	-1.023	-1.095	-0.991	1.153
1958-59	616.84	674.99	738.11	1,327.42	6.425	6.515	6.604	7.191	2.173	1.727	1.616	0.458
1959-60	56.08	574.26	633.51	1,419.31	4.027	6.353	6.451	7.258	-0.547	1.524	1.393	0.568
1960-61	41.35	97.44	183.08	786.58	3.722	4.579	5.210	6.668	-0.892	-0.702	-0.423	-0.400
1961-62	64.91	107.36	164.42	566.33	4.173	4.676	5.102	6.339	-0.381	-0.580	-0.580	-0.938
1962-63	136.23	171.13	225.94	824.08	4.914	5.142	5.420	6.714	0.460	0.005	-0.115	-0.323
1963-64	169.55	218.72	272.88	783.44	5.133	5.388	5.609	6.664	0.708	0.313	0.161	-0.406
1964-65	68.45	99.54	134.60	597.69	4.226	4.601	4.902	6.393	-0.321	-0.675	-0.873	-0.850
1965-66	59.07	122.22	241.75	2,271.75	4.079	4.806	5.488	7.728	-0.488	-0.417	-0.016	1.339
1966-67	75.66	137.91	240.32	1,085.72	4.326	4.927	5.482	6.990	-0.207	-0.266	-0.025	0.129
1967-68	110.93	258.04	340.90	2,053.80	4.709	5.553	5.832	7.627	0.227	0.520	0.486	1.174
1968-69	122.34	183.38	258.39	547.79	4.807	5.212	5.554	6.306	0.338	0.092	0.081	-0.993
1969-70	25.77	74.25	141.02	893.25	3.249	4.307	4.949	6.795	-1.428	-1.043	-0.805	-0.191
1970-71	138.50	189.28	239.76	961.09	4.931	5.243	5.480	6.868	0.479	0.132	-0.029	-0.071
1971-72	320.72	391.93	462.07	1,254.47	5.771	5.971	6.136	7.134	1.431	1.045	0.931	0.366
1972-73	160.55	377.28	437.20	1,480.56	5.079	5.933	6.080	7.300	0.646	0.997	0.850	0.637
1973-74	46.16	98.61	141.34	1,041.46	3.832	4.591	4.951	6.948	-0.767	-0.687	-0.801	0.060
1974-75	158.61	223.60	273.13	1,240.69	5.066	5.410	5.610	7.123	0.633	0.341	0.162	0.347
1975-76	41.15	95.02	153.28	1,063.81	3.717	4.554	5.032	6.970	-0.898	-0.733	-0.683	0.095
1976-77	105.91	164.38	252.43	664.42	4.663	5.102	5.531	6.499	0.174	-0.045	0.047	-0.676
1977-78	81.08	128.19	351.60	2,162.21	4.395	4.854	5.862	7.679	-0.129	-0.357	0.531	1.258
1978-79	291.95	468.55	531.37	1,011.80	5.677	6.150	6.275	6.919	1.325	1.269	1.135	0.013
1979-80	50.68	115.96	203.17	1,089.31	3.926	4.753	5.314	6.993	-0.661	-0.483	-0.271	0.134
1980-81	196.86	353.32	508.14	1,749.75	5.282	5.867	6.231	7.467	0.878	0.915	1.070	0.911

CICLO	VALORES NATURALES				LOGARITMOS NATURALES				SDI			
	OCT-DIC	OCT-MAR	OCT-JUN	OCT-SEP	OCT-DIC	OCT-MAR	OCT-JUN	OCT-SEP	OCT-DIC	OCT-MAR	OCT-JUN	OCT-SEP
1981-82	737.76	827.87	921.15	1,101.78	6.604	6.719	6.826	7.005	2.376	1.983	1.940	0.153
1982-83	96.98	478.74	564.18	986.29	4.575	6.171	6.335	6.894	0.075	1.296	1.223	-0.029
1983-84	166.27	261.36	734.42	2,155.04	5.114	5.566	6.599	7.676	0.686	0.536	1.609	1.252
1984-85	205.30	459.08	553.41	984.69	5.324	6.129	6.316	6.892	0.925	1.243	1.195	-0.031
1985-86	107.39	190.16	295.07	2,206.38	4.676	5.248	5.687	7.699	0.190	0.137	0.275	1.291
1986-87	72.38	147.65	256.72	934.50	4.282	4.995	5.548	6.840	-0.257	-0.180	0.071	-0.117
1987-88	48.73	129.26	224.98	1,707.78	3.886	4.862	5.416	7.443	-0.706	-0.347	-0.122	0.871
1988-89	55.37	195.47	271.67	1,264.31	4.014	5.275	5.605	7.142	-0.561	0.172	0.154	0.378
1989-90	42.69	85.41	138.58	1,520.00	3.754	4.447	4.931	7.326	-0.856	-0.867	-0.830	0.680
1990-91	335.56	612.61	648.95	3,606.47	5.816	6.418	6.475	8.190	1.482	1.605	1.428	2.097
1991-92	221.24	662.87	744.51	1,090.60	5.399	6.497	6.613	6.994	1.010	1.704	1.629	0.136
1992-93	33.77	79.11	122.10	1,115.90	3.520	4.371	4.805	7.017	-1.122	-0.963	-1.015	0.174
1993-94	114.24	147.89	184.08	282.48	4.738	4.996	5.215	5.644	0.260	-0.178	-0.415	-2.078
1994-95	48.78	83.71	89.17	277.29	3.887	4.427	4.491	5.625	-0.705	-0.892	-1.475	-2.109
1995-96	12.86	19.63	30.54	1,725.55	2.554	2.977	3.419	7.453	-2.217	-2.712	-3.042	0.888
1996-97	58.51	106.22	205.99	718.07	4.069	4.666	5.328	6.577	-0.499	-0.593	-0.251	-0.549
1997-98	71.07	124.02	151.31	465.61	4.264	4.820	5.019	6.143	-0.278	-0.399	-0.702	-1.259
1998-99	52.41	72.88	97.80	1,008.82	3.959	4.289	4.583	6.917	-0.623	-1.066	-1.340	0.008
1999-00	28.28	55.59	153.39	387.00	3.342	4.018	5.033	5.958	-1.323	-1.406	-0.682	-1.562
2000-01	204.48	249.25	257.48	729.21	5.320	5.518	5.551	6.592	0.921	0.477	0.076	-0.524
2001-02	24.12	48.91	94.07	643.50	3.183	3.890	4.544	6.467	-1.504	-1.566	-1.397	-0.729
2002-03	23.80	62.07	96.61	330.44	3.170	4.128	4.571	5.800	-1.519	-1.267	-1.358	-1.821
2003-04	107.16	149.12	181.47	507.51	4.674	5.005	5.201	6.230	0.188	-0.168	-0.436	-1.118
2004-05	484.64	620.52	651.23	1,252.64	6.183	6.431	6.479	7.133	1.899	1.621	1.433	0.363
2005-06	31.52	54.06	129.16	2,016.83	3.451	3.990	4.861	7.609	-1.200	-1.441	-0.933	1.144
2006-07	51.62	263.98	320.63	720.77	3.944	5.576	5.770	6.580	-0.641	0.549	0.397	-0.543
2007-08	196.81	269.14	319.86	3,043.00	5.282	5.595	5.768	8.021	0.877	0.573	0.393	1.818
2008-09	126.70	173.86	254.04	1,021.46	4.842	5.158	5.537	6.929	0.378	0.025	0.056	0.029
2009-10	93.42	122.89	200.84	1,455.20	4.537	4.811	5.303	7.283	0.032	-0.410	-0.288	0.609
2010-11	95.23	138.96	191.61	331.96	4.556	4.934	5.255	5.805	0.054	-0.256	-0.356	-1.814
2011-12	27.76				3.324				-1.344			
Minimo	12.860	19.630	30.540	161.91	2.554	2.977	3.419	5.087	-2.217	-2.712	-3.042	-2.991
Medio	124.4	219.34	289.21	1,113.9	4.509	5.138	5.499	6.911	-0.096	-0.069	-0.075	-0.110
Maximo	737.76	827.87	921.15	3,606.5	6.604	6.719	6.826	8.190	2.376	1.983	1.940	2.097
Varianza	17,660	33,611	39,241	438,92	0.777	0.635	0.467	0.372	1.000	1.000	1.000	1.000
Des. Est.	133	183	198	663	0.882	0.797	0.684	0.610	1.000	1.000	1.000	1.000
C.V.	93.61	119.64	146.00	168.13	511.36	644.69	804.3	1,133	-9.59	-6.89	-7.50	-10.98
Sesgo	2.71	1.52	1.29	1.35	0.26	0.02	-0.21	-0.35	0.26	0.02	-0.21	-0.35
Kurtosis	8.86	1.68	1.03	2.49	-0.35	-0.29	0.17	0.18	-0.35	-0.29	0.17	0.18

Las gráficas correspondientes al SDI se muestran en la figura siguiente:

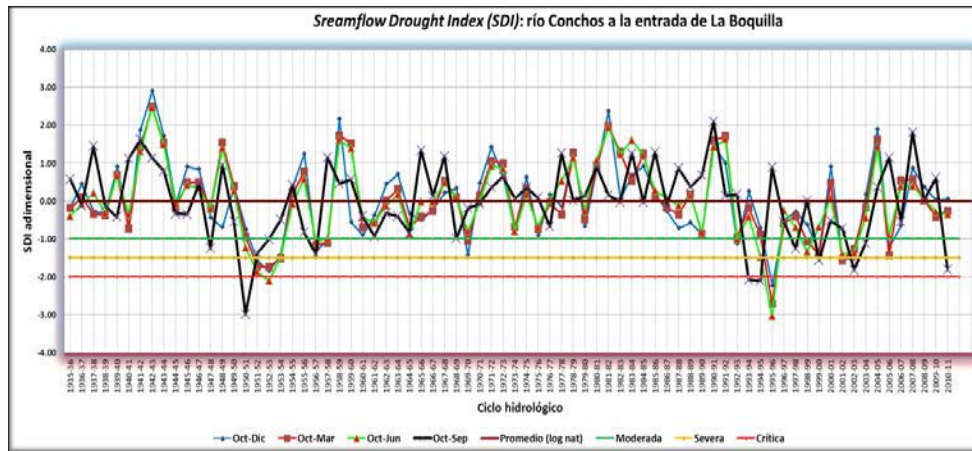


Figura 2.25 SDI para las aportaciones del río Conchos a la presa La Boquilla, a los cuatro periodos trimestrales acumulados.

Los valores convencionales de referencia del SDI se muestran en la siguiente tabla. Desde el enfoque de que estos valores se han estandarizado (media cero y varianza uno), entonces los valores trimestrales acumulados son comparables entre sí, es decir, el valor del índice tiene el mismo significado o interpretación, para todos los periodos

—donde el periodo uno va de octubre a diciembre, el periodo dos de octubre a marzo, el periodo tres de octubre a junio, y el periodo cuatro de octubre a septiembre—, y por ende, la evaluación del grado de severidad de la sequía en términos adimensionales puede hacerse para cualquier periodo.

Tabla 2.18 Valores convencionales del SDI

Estado	Descripción	Criterio	Probabilidad (%)
0	Sin sequía	SDI > 0.0	50
1	Sequía incipiente	-1 < SDI < 0.0	34.1
2	Sequía moderada	-1.5 < SDI < -1.0	9.2
3	Sequía severa	-2.0 < SDI < -1.5	4.4
4	Sequía extrema	SDI < -2.0	2.3

Dado que para México en general y particularmente para la cuenca del Conchos, el periodo de lluvias típico es el verano, y en especial los meses de julio a septiembre, entonces es el cuarto periodo acumulado del SDI (octubre-septiembre) el que resulta más

significativo en términos del índice, es decir, es el determinante; ocasionalmente se llegan a presentar lluvias durante el invierno, pero son de poca monta y no contribuyen a los escurrimientos. También, en algunos años, las lluvias empiezan un poco antes, en el mes de

junio, y/o se prolongan un mes después, a octubre, pero esas extensiones temporales ni son muy frecuentes ni aportan valores importantes; más bien, los problemas de sequía se agudizan y se pueden volver muy severos si en el trimestre julio-septiembre llueve menos de lo esperado.

Como puede observarse, los índices SPI y SDI en general concuerdan con los periodos deficitarios, y ello se manifiesta en los menores volúmenes escurridos y embalsados, y finalmente en los menores volúmenes

disponibles y extraídos para riego, que a su vez implican superficies regadas menores, menor producción, menor ingreso y menor actividad agropecuaria en general.

2.6. Persistencia de las sequías en la cuenca del río Conchos

La Cuenca del Río Conchos (CRC) es parte de la cuenca del Río Bravo/Grande (R-B/G) y ha sido afectada por la sequía en los últimos años. La Figura 2.26 muestra la posición geográfica de la CRC como parte de la Cuenca del R-B/G.



Figura 2.26 Mapa de localización de la Cuenca del Río Conchos (CRC) como parte de la Cuenca del Río Bravo/Grande (CR-B/G)

Considerando que las cuestiones más importantes acerca del impacto de las sequías consisten en determinar su persistencia e intensidad. Así, por las innegables necesidades de la modelación de la persistencia de procesos climáticos extremos

como es la sequía, en este trabajo se aplica un método simple de acumulación de anomalías para modelar la persistencia en la CRC. También se recomiendan algunas acciones para aplicar y mejorar estas técnicas.

Modelo estadístico de la sequía.

Conforme a los trabajos realizados por Hurst (1951) y de Burke et al. (2010) se propuso un método de caracterización y diagnóstico simple con base en valores acumulados para ser aplicado a la problemática de la sequía en México. El modelo propuesto que se basa en

la información que brindan las series temporales de las variables climáticas locales y regionales, se aplica mediante la acumulación directa, que permite la caracterización y diagnóstico de la sequía regional en estudio

Métodos

Información necesaria

Se requiere un registro de valores de la o las variables o índices característicos de la sequía (lluvia acumulada mensual, PDSI, SPI, etc.).

Mientras el registro sea de mayores longitudes temporales, los resultados del

análisis serán más confiables. Considerando los estudios de Ishizaki (1971) y de Russell (1971), que detectan oscilaciones de cerca de 80 años en la ocurrencia de ciclones tropicales del pacífico y del Atlántico, se recomiendan un mínimo de 80 años de información.

Eliminación del ciclo anual local

Para identificar mejor las oscilaciones climáticas en registros mensuales, es necesario evaluar y filtrar primeramente las oscilaciones intranuales. Para ello se propone el siguiente modelo:

$$P(t) = \sum_{j=0}^J a_j \sin(j\omega_j t + \varphi_j) + p(t) \quad (1)$$

donde:

P es el valor de la precipitación diaria en mm
t es el tiempo en días

a es la amplitud de las componentes periódicas intranuales en mm
 ω es la frecuencia $2\pi/(365 \text{ días})$
 φ es la fase en radianes
p es el la precipitación de alta frecuencia (residual o interdiaria), complemento de la precipitación de baja frecuencia (intranual)

J es el número de los componentes
j es el subíndice que indica el número de la componente periódica

Los parámetros de este modelo se pueden estimar mediante las técnicas de mínimos

cuadrados.

Cálculo de la acumulación de anomalías

Para resaltar la persistencia de las sequías se propone una transformación matemática, que acumula las anomalías de la variable S, de la sequía (Hurst 1950), se aplicó:

$$\sigma(t) = \int_{t_0}^t (S(t) - \mu) dt \quad (2)$$

donde, S(t) es la variable de sequía, $\sigma(t)$ es la integral temporal de la sequía estandarizada, t es el tiempo, t₀ es el tiempo inicial, y μ es el promedio de largo plazo de S(t).

Cálculo de la recurrencia de anomalías acumuladas

Para caracterizar la recurrencia de la persistencia de las sequías se propone utilizar la distribución de probabilidad acumulada de valores extremos propuesta por Gumbel (1950):

$$P(s) = e^{-e^{-(s-\mu)/\beta}} \quad (3)$$

Donde

S	Variable de la sequía
β, μ	Parámetros de la Distribución Extrema Tipo I
P	Función de Distribución de Probabilidad acumulada Extrema Tipo I

Para estimar sus parámetros se realiza un ajuste lineal a la información de cada población del viento transformada mediante

una recta de ajuste de mínimos cuadrados de la siguiente forma:

$$y = \beta x + \mu \quad (4)$$

donde

$$y = v$$

$$x = -Ln \left(Ln \left(\frac{1}{F} \right) \right)$$

Después de evaluar las oscilaciones de las anomalías de precipitación intermensual, p(t), mediante el filtrado las oscilaciones anuales, se procede a realizar el análisis espectral propuesto en 3.1. Con dicho análisis puntual, que brinda gran resolución en el dominio de las frecuencias locales, se identifican aquellas que son comunes en la región en estudio. Se propone seleccionar a las frecuencias locales que más contribuyen a la explicación de la varianza, pero que también lo hacen a escala regional.

Aplicación del modelo MEP de sequías para la cuenca del río Conchos (cc)

A continuación se comentan los aspectos más importantes de la aplicación de los MEPs en la CRC en Chihuahua, México.

Información climática

Gracias al esfuerzo internacional realizado por el CRU/UEA se cuenta con información de precipitación acumulada mensual depurada de más de 100 años, interpolada sobre una

mallita de sitios separados 0.5° sobre todo México. Esta base de datos del CRU/UEA ha considerado la mayor cantidad de información disponible tanto en México como en los centros mundiales de análisis meteorológico.

Se realizó una integración de la información de lluvia del CRU/UEA para la región centrada en -105° W y 27.5° N. La información de lluvia regional en [mm/mes] se muestra en la Figura 2.27.

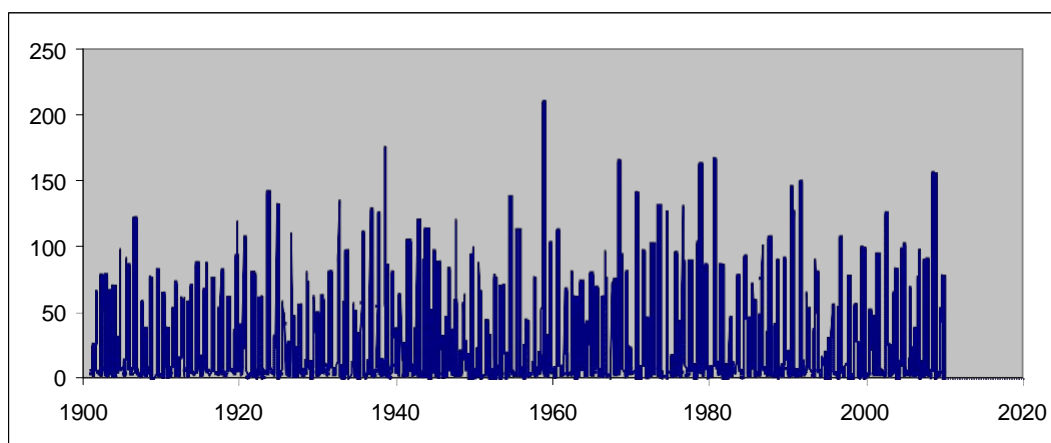


Figura 2.27 Lluvia regional en mm/mes para la región centrada en -105° W y 27.5° N.

Resultados de la modelación climática

A la información climática se le aplicó el modelo de acumulación mostrado en la ecuación (1). Los resultados muestran los

periodos históricos de las sequías ocurridas durante del siglo XX y XXI. La información de lluvia acumulada [mm-mes] se muestra en la figura 2.28

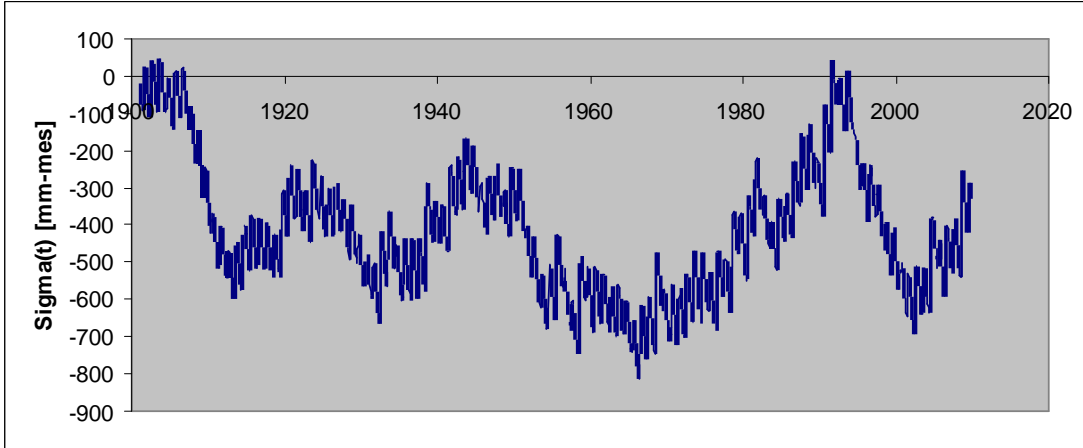


Figura 2.28 Lluvia regional acumulada, $\sigma(t)$, en [mm-mes] para la región centrada en -105 W y 27.5 N.

En esa figura, destacan en particular las grandes sequías a los fines de 1907-1913, 1924-1932, 1952-1955, 1959-1966 y 1993-2001. La tabla 2.19 muestra los valores decenales de las sequías más severas. El

criterio de asignación es considerar que el punto medio de la sequía se localiza en la década correspondiente.

Tabla 2.19. Valores decenales de las sequías más severas en la cuenca del río Conchos

Década	Sigma [mm-mes]
1900s	-177
1910s	-607
1920s	-197
1930s	-375
1940s	-240
1950s	-403
1960s	-329
1970s	-186
1980s	-274
1990s	-688
2000s	-189

Con la información decenal de la Tabla 2.19, se ajustó el modelo de probabilidad de valores

extremos tipo I, o Gumbel, según la ec. (3).

En la Figura 2.29 se muestra el modelo y los

rangos de confianza para diferentes valores de

la variable sigma (x-data en la Figura 3.29)

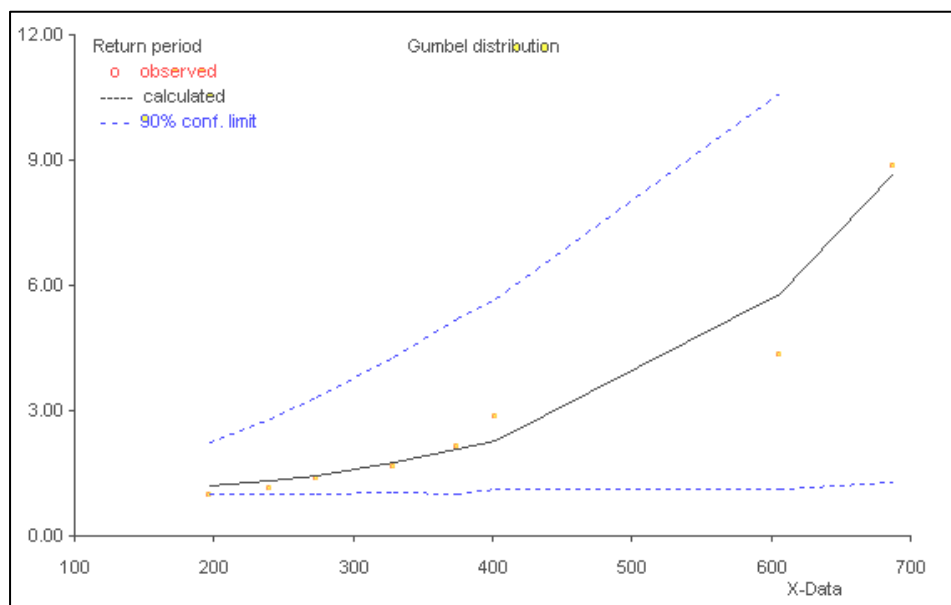


Figura 2.29. Modelo de probabilidad acumulada de valores extremos tipo I, Gumbel, de la lluvia regional acumulada en [mm-mes] (X-data) para la región centrada en -105 W y 27.5 N

Según el modelo probabilista de valores extremos tipo I, Gumbel, se estima que las sequías ocurridas en 1906-1915 con valores de deficitarios acumulados de cerca de 600 [mm-mes] presentan una recurrencia media máxima, (ver Figura 2.29), de entre 5 y 10 décadas (nivel de confianza de 90%). En cambio, las sequías ocurridas en 1993-2002, la mayor de los últimos 110 años, con valores de deficitarios acumulados de cerca de 690 [mm-mes] presentan una recurrencia media máxima, según el modelo de valores extremos Gumbel (ver Figura 2.29), de entre 8 y 13 décadas (nivel de confianza de 90%).

Si en el caso de la región en estudio (CRC) se presentara un déficit acumulado en los

últimos 3 años de 300 [mm-mes] corresponde a una recurrencia media máxima, según el modelo de valores extremos Gumbel (ver Figura 2.29), de entre 1 y 3 décadas (nivel de confianza de 90%).

Conclusiones y recomendaciones

Después de modelar la información climática de la CRC, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se analizaron 109 años de información climática de la CRC
- Se ha aplicado una MEP para caracterizar las sequías de la CRC en México

- Los resultados indican la presencia de la sequía en la CRC que terminó en 2002 que es la mayor de los últimos 110 años

Conclusión final:

La sequía de los últimos 3 años parece haber disminuido en los últimos meses de 2012, pero se necesitan mayores elementos de la situación presente para determinar si esta continuará y cuando lo hará.

Recomendaciones

Por la innegable importancia de caracterizar y modelar los procesos asociados a la sequía, se deben de mejorar la confiabilidad tanto de la información como de las técnicas mediante las tareas siguientes:

- Mejorar el proceso de toma y recolección de los registros de lluvia
- Revisión periódica de las condiciones de las estaciones climatológicas.
- Desarrollar, modificar y mejorar técnicas estadísticas para México.

2.7. Vulnerabilidad a la sequía

La vulnerabilidad de una cuenca a las variaciones naturales meteorológicas, especialmente en cuanto a la lluvia, es más alta en las zonas áridas, y también en la medida en que la demanda de agua sea alta en relación a la disponibilidad.

Se llevó a cabo la evaluación del efecto de la sequía en los escurrimientos para la cuenca del río Conchos en México, como parte del complejo hidrológico del río Bravo, corriente natural cuya cuenca comparte México con los Estados Unidos de América, y que está sujeta a un tratado entre ambos países, para regular el agua y su uso por ambas partes.

El quinquenio que comprende de octubre de 1997 a septiembre de 2002, equivalente al ciclo 26 dentro del TIA, en términos estrictamente meteorológicos, expresados en valores de lluvia y temperatura media mensuales, fue un periodo con deficiencias de humedad, cuantificadas tanto en la “eficiencia” de la lluvia, evaluada con el SPI, como en relación al suelo y a las necesidades hídricas de las plantas y su entorno (temperatura, radiación, etc.), evaluadas con el PDSI. Para ambos índices, la evaluación de la sequía muestra periodos y áreas geográficas con deficiencias desde incipientes y moderadas hasta extremadamente secas.

La consecuencia de estas persistentes condiciones fue la disminución del escurrimiento en las corrientes superficiales, insuficiente para la capacidad de los reservorios principales y para cumplir con lo estipulado en el TIA. Por ende, también la demanda establecida en base a las condiciones naturales medias de disponibilidad, superó con mucho a la oferta de agua para los

diversos usos, y eso contribuyó decisivamente a que, en conjunto para el quinquenio, los volúmenes comprometidos, según el Tratado, no se cumplieran, es decir, las condiciones naturales persistentes y recurrentes de sequía, más allá de otras consideraciones artificiales, han sido las causas básicas de que, tanto para las necesidades locales y regionales, como para los compromisos internacionales, no haya habido la suficiente agua.

El grado de desarrollo de la cuenca y la demanda de agua que ello produce, se han visto fuertemente impactados por la escasez, ocasionando múltiples y severos problemas tanto locales, como regionales e internacionales.

Estos son síntomas inequívocos de la vulnerabilidad humana ante situaciones extremas; aunque raras en su probabilidad de ocurrencia, son perfectamente posibles de ocurrir. Así pequeñas variaciones en la lluvia y el agua disponible pueden producir severas consecuencias por la demanda no satisfecha.

Ante estas condiciones, sólo una adecuada gestión, basada en fundamentos técnicos y, sobre todo, en la participación y compromiso social, es capaz de mitigar los efectos nocivos del fenómeno, ya que no evitarlo.

2.8. Pronóstico a mediano plazo de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Conchos

Debido a que la sequía es un problema recurrente en el país, es importante el desarrollar un sistema integral de pronóstico, monitoreo, diagnóstico y comunicación de la situación de sequía a escala regional para el país. Como una parte fundamental para realizar un pronóstico de sequía, se requiere tomar en cuenta el pronóstico de precipitación para los próximos meses (pronóstico climático estacional). Con esta información se puede tener una aproximación de si existen condiciones atmosféricas que puedan contribuir al desarrollo de un evento de sequía o, en caso de que ésta ya exista, conocer si hay probabilidad de que se extienda, reduzca, intensifique o desaparezca.

En esta sección se describe la metodología utilizada para emitir el pronóstico de mediano plazo de precipitación para la cuenca del Conchos. Para lo cual se describen primero las precipitaciones históricas de la región, con el fin de poder tener una estimación de la climatología de lluvia en cada estación del año y, al momento de emitir un pronóstico, esto nos sirva de referencia poder así estimar si la precipitación esperada es normal, o por arriba o por debajo de la climatología.

Posteriormente se describirá la metodología para elaborar el pronóstico así como la calibración empleada con la validación correspondiente. Ya que al ser la precipitación una variable compleja para pronosticar tenemos que conocer las limitaciones que pueda tener el pronóstico.

Finalmente describirá pronóstico climático estacional emitido en octubre de 2012 para los próximos 6 meses, de noviembre del 2012 a abril del 2013, en promedios mensuales.

Caracterización climática

Antes de emitir el pronóstico de una región en específico, se tiene que hacer un estudio climatológico para conocer la cantidad de lluvia que se espera en promedio en cada estación del año y los fenómenos climáticos que perturban la región.

El clima en México se ve afectado por diversos fenómenos meteorológicos tanto en escala espacial como temporal. Méndez (2009) expone que los modos de variabilidad climática que más afectan las precipitaciones

en México pueden ser de baja frecuencia, como lo es El niño/Oscilación del sur (ENSO) y los interdecadales, como son la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO) y la Oscilación Multidecenal del Atlántico (AMO), aunque también intervienen otros factores como el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el monzón mexicano, el jet de niveles de bajos del Caribe (CLLJ) las ondas del este y los ciclones tropicales. Lo que da lugar a diferentes patrones climáticos a lo largo de todo el país.

La cuenca del Río conchos se encuentra ubicada en el norte de México en el Estado de Chihuahua. De acuerdo con la clasificación del INEGI (2010) Chihuahua tiene 3 climas representativos: en la parte alta de la Sierra Madre Occidental tiene un clima templado subhúmedo (24%), en la parte baja de la Sierra es un clima seco y semiseco (33%), mientras que en las sierras y la llanura norte existe un clima muy seco (40%), ver figura 2.30.

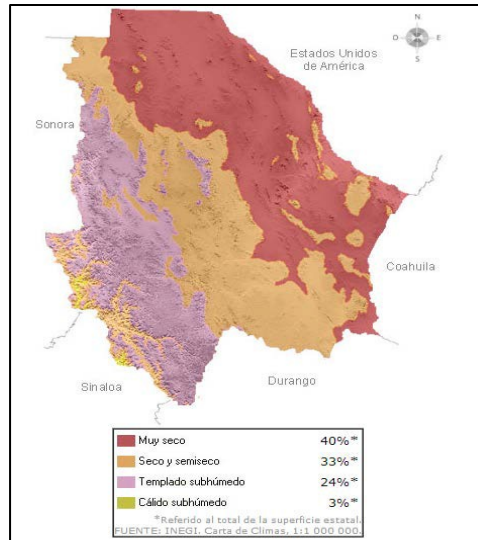


Figura 2.30. Clasificación de Climas del estado de Chihuahua (Fuente: INEGI, 2010)

En esta región los principales fenómenos meteorológicos que afectan son los ciclones extratropicales y el Monzón de México. Que a su vez estos fenómenos se ven influenciados por oscilaciones como El Niño y la Oscilación Decenal del Pacífico principalmente.

La estación donde se presentan las lluvias más intensas es en el verano, con acumulados trimestrales que varían desde 100 mm en la cuenca baja hasta 400 mm en la cuenca alta (figura 2.31). Estas altas precipitaciones se

relacionan con la influencia del Monzón sobre la Sierra Madre Oriental, en otoño aún quedan remanentes del Monzón así como la influencia de ciclones tropicales, principalmente en septiembre. En contraste, la primavera es la estación con menor precipitación, siendo casi nulos en toda la cuenta. En invierno aunque tiene un patrón parecido a la primavera, en la cuenca, existe mayor precipitación principalmente en la parte alta.

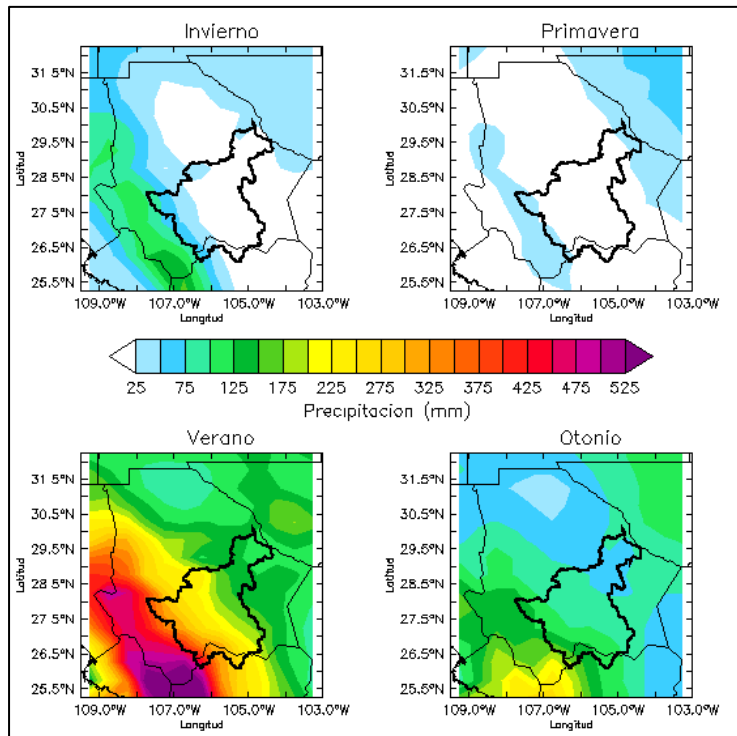


Figura 2.31 Acumulados estacionales de precipitación, promedio para el periodo 1975-2005, generados con la base de datos de la Unidad de Investigación Climática versión 3.1 (CRU TS3.1, por sus siglas en inglés).

Metodología para elaborar el pronóstico a mediano plazo

Existen diversas metodologías para poder emitir pronósticos estacionales, las cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos: estadísticas, dinámicas y estocásticas (la combinación de las dos anteriores). Cada una con diferentes ventajas y desventajas. En el presente trabajo se utilizó el método estocástico, utilizando las salidas del modelo de Circulación General “Climate Forecast System” (CFS) (Suranjana, *et al.*, a ser sometido) y calibrándolas con el método estadístico “Model Output Statistics” (MOS) (Glahn y Lowry, 2002).

Para utilizar esta metodología se descargaron datos retrospectivos del CFS (simulaciones climatológicas de 1982 a 2010) para todo el mundo a una resolución horizontal de 100 km y de todas las variables disponibles. Por lo cual primero se hicieron recortes para México (120°O-80°O, 12°N-35°N) y posteriormente se recortó para la región del Rio Conchos (180.25°O-103.75°O, 75°N-25.75°N), ver figura 3.31. Los datos se encuentran en formato netcdf con una resolución temporal de 6 horas, por lo que se calcularon promedios diarios y con éstos promedios mensuales. El procedimiento de descarga puede ser repetido con una frecuencia diaria.

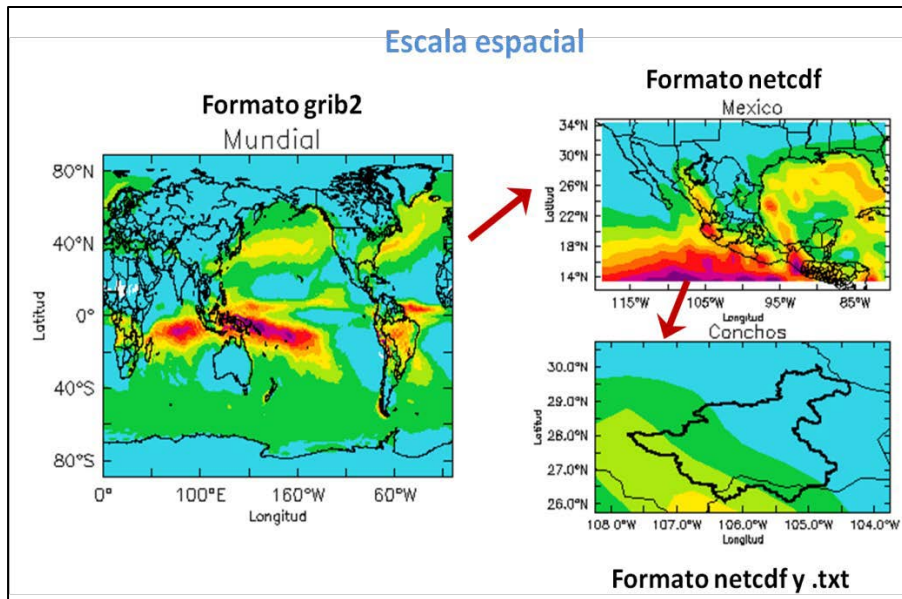


Figura 2.32 Procesamiento espacial y de formato que se aplicó a las salidas del modelo CFS.

Una vez que se tienen los promedios mensuales retrospectivos del CFS, se seleccionaron 21 variables para que con esas se proceda a generar las regresiones lineales con el método MOS (Glahn y Lowry, 1972) para calibrarlos. Para poder aplicar el MOS se necesitan datos observados y dado que dicha región no cuenta con una vasta red de datos con al menos 30 años de registros, se procedió a utilizar la base de datos del Climate Research Unit (CRU) de la Universidad de East Anglia en Reino Unido (Mitchel y Jones, 2005). El CRU tiene una malla horizontal regular de $.5^\circ \times .5^\circ$ (aproximadamente 50km x 50km).

En las siguientes dos secciones se describe a detalle cada una de las herramientas utilizadas para la calibración y emisión del pronóstico estacional. Así como la validación de la

calibración en las simulaciones del modelo CFS.

Modelo de Circulación General CFS

El modelo CFS es un modelo acoplado océano-atmósfera desarrollado por el Centro Nacional de Estados Unidos para la Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés), el cual hizo públicas sus salidas a la comunidad científica de manera operacional desde agosto de 2004. Diariamente emite cuatro pronósticos a las 00UTC, 06ZUTC, 12UTC y 18UTC, las cuales difieren en las condiciones iniciales utilizadas.

La componente atmosférica del CFS es el modelo atmosférico GFS del NCEP, versión de febrero del 2003, el cual es el mismo que el utilizado para pronóstico del tiempo, excepto, que posee una resolución horizontal más

burda. Tiene un truncamiento triangular espectral de 62 ondas en la horizontal (equivalentes a casi 200 km en el Ecuador de una malla gaussiana) y una diferenciación finita en la vertical con 64 niveles sigma, la parte superior la vertical es en la isobara de 0.2 hPa. Las condiciones iniciales atmosféricas son obtenidas de los datos de del Proyecto de Inter-comparación del Modelo de Energía Atmosférico (AMIP, Kanamitsu *et al.* 2002A). La componente oceánica del CFS es el modelo Modular Oceánico versión 3 (MOM 3) del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos (Pacanowsky y Griffies 1998), el cual es una versión con diferencias finitas de las ecuaciones con las aproximaciones hidrostáticas y de Boussinesq. Utiliza coordenadas esféricas en la horizontal con una malla escalonada de Arakawa tipo B y coordenadas z en la vertical, la frontera en superficie del océano es calculada de una superficie libre explícita. El dominio es casi global extendiéndose de 74°S a 64°N, la resolución horizontal es de 1°, la resolución meridional es de 1/3° entre 10°S y 10°N, incrementándose gradualmente a través de los trópicos hasta ajustarse a 1° hacia los polos. Hay 40 capas en la vertical con 27 capas en los 400 m por arriba y la profundidad de fondo es de alrededor de 4.5 km. La resolución vertical es de 10 m de la superficie a 240 m de profundidad, incrementándose gradualmente cerca de los 511 m en la paca de fondo. La mezcla vertical

sigue la parametrización no local del perfil K de Large *et al.* (1994). La mezcla horizontal de trazadores usa el método isoneutral iniciado por Gent y McWilliams (1990), mientras que la mezcla horizontal de momento usa el esquema no lineal de Smagorinsky (1963).

Las componentes oceánica y atmosférica son acopladas sin corrección o ajuste de flujo. Ambas componentes intercambian diariamente cantidades promediadas, tales como flujos de calor y momento, una vez al día. Las componentes interactúan directamente entre sí sólo en la región de los 65°S a los 50°N, mientras que hacia los polos (de los 74° S y 64° N), la temperatura superficial del mar que se necesita para el modelo atmosférico es tomada de la climatología observada.

Las condiciones iniciales del modelo oceánico son obtenidas del sistema de Asimilación de Datos GODAS (Behringer, 2005), el cual se hizo operacional en NCEP en septiembre del 2003. El modelo oceánico en GODAS es forzado con flujos semanales de calor, flujos flotantes en superficie y vectores de esfuerzo del viento obtenidos del re-análisis 2 del NCEP (Kanamitsu *et al.*, 2002a). Las temperaturas superficiales del mar de GODAS fueron suavizadas a los valores de temperatura de temperaturas de Reynolds

(Reynolds *et al.*, 2002) con una escala de tiempo de 5 días (Suranjana, et al, 2010).

Los datos del modelo CFS están disponibles en la página: <http://cfs.ncep.noaa.gov>, donde está el acceso tanto a los datos retrospectivos como a los datos de pronóstico (que se emiten 4 veces al día). Los datos de pronóstico se pueden descargar con tres resoluciones temporales: cada 6 horas, diarios o mensuales. El formato de los archivos es GRIB2, sin embargo para facilitar su manejo se convirtieron a formato netcdf, para así utilizar la herramienta de “Operadores de datos climáticos” (CDO, por sus siglas en inglés, liga web).

Existen diferentes tipos de datos a descargar: los FLXF, que son flujos superficiales, de radiación entre otros, a dos dimensiones; los PGBF que son datos a nivel presión y están a 3 dimensiones; datos oceánicos a 3D, OCNH (malla a .5°) y OCNF (malla a 1°) y datos a nivel isentrópico a 3D, IPVF. De los cuales el grupo de nuestro interés son los primeros:

FLXF, ya que contienen las variables en superficie de precipitación, temperatura, radiación de onda larga, corta, etc.

Después se seleccionan un grupo de datos a descargar se procede a escoger la resolución temporal que se desee, en este trabajo se escogió cada 6 horas, con los cuales se calcularon promedios diarios. Diariamente están disponibles simulaciones a las 00UTC, 06 UTC, 12 UTC y 18Z UTC. Para emitir un pronóstico del mes de octubre, por ejemplo, se descargan los datos diariamente con sus cuatro realizaciones, para cada realización se calcula un promedio simple diario y posteriormente un ensamble mensual. Finalmente quedan 4 archivos (con promedios mensuales o diarios), uno para cada realización, con los cuales se calcula un promedio simple de éstos. Y este último ensamble (mensual o diario) es el que se utiliza para emitir los pronósticos.

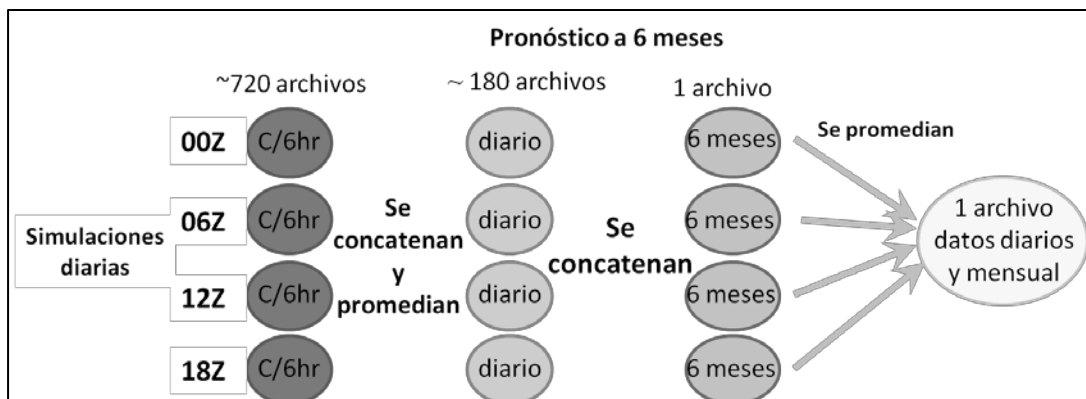


Figura 2.33. Esquema para realizar el pronóstico a 6 meses sin calibrar.

El formato de los archivos retrospectivos es similar a los futuros por lo que se procesaron del mismo modo. Una vez que se tiene obtenido el ensamble mensual, se calcula la anomalía respecto a los datos retrospectivos climatológicos, con el fin de conocer cómo podría variar la precipitación en los próximos 6 meses.

Corrección estadística MOS

El MOS es una técnica utilizada para el pronóstico del tiempo que consiste en determinar una relación estadística entre un predictante y las variables del pronóstico mediante un modelo (Glahn y Lowry, 1972). Esta relación se hace mediante una regresión lineal múltiple, donde el resultado es una ecuación que puede ser usada para estimar el predictante (variable Y, dependiente) como una combinación lineal de predictores (variables X_i , independientes entre sí):

$$\hat{Y} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k.$$

Donde las a 's son las constantes de regresión y coeficientes. Las a 's son determinadas tales que la suma de los cuadrados de la estimación de los errores sea mínima en el desarrollo. El proceso de selección de las variables se llama "Forward Selection", que supone que todas las variables a considerar son independientes para construir una recta de regresión lineal múltiple. De las variables independientes se calcula la correlación que tienen entre ellas, si existe un par de variables que estén altamente

correlacionadas se escoge solo una. Ya que de incluirse se tendrían estimaciones bajas de la variable dependiente (Mateos, 2012).

El procedimiento del "Forward Selection" es el siguiente:

1. Sean M potenciales variables independientes. El proceso inicia con $y = \bar{y}_0$, donde \bar{y}_0 es la media de la variable dependiente.
2. Para seleccionar la siguiente variable de la ecuación: $y = \bar{y}_0 + a_{1i}X_i$, se deberá realizar el análisis de ajuste lineal simple con cada una de las variables potenciales independientes; aquella que presente el mejor ajuste es seleccionada. En general \bar{y}_0 será diferente que aquella encontrada en el paso anterior.
3. Igualmente que en el paso anterior, para la siguiente variable de la ecuación: $y = \bar{y}_0 + a_{11}X_1 + a_{2i}X_i$; se determina la mejor curva de ajuste al considerar el resto de las $M-1$ potenciales variables independientes. Y así sucesivamente.
4. Se dejara de agregar variables cuando la correlación de Pearson disminuya solo 0.05%

Esta calibración se efectúa para el periodo retrospectivo (1982-2010) y para el pronóstico a meses del mes de Octubre de 2012. El MOS se aplicó sobre 100 puntos de malla, es decir, que se tienen 100 ecuaciones.

El predictante (variable dependiente) en el presente trabajo es la precipitación y las variables de pronóstico (variables independiente) del modelo CFS que se utilizaron fueron 23, sin embargo después de pasar por el proceso del MOS, quedaron 13 (las cuales tienen muy baja correlación entre

sí) (tabla 2.20). En la cual se muestra que la variable más utilizada fue la de razón de precipitación convectiva (CPRAT) seguida por la humedad específica mínima y temperatura máxima, y contrario a lo que se esperaba la razón de precipitación apareció en 85 de 100 ecuaciones.

Tabla 2.20 Variables utilizadas por el modelo MOS y la frecuencia con la que aparecieron en las 100 ecuaciones.

	Nombre de la variable	Significado	# de veces usada
1	CPRAT	Razón de precipitación convectiva (kg/m ² /s)	100
2	QMIN	Humedad específica mínima a 2m (kg/kg)	92
3	T_MAX	Temperatura máxima (°K)	91
4	PRATE	Razón de precipitación (kg/m ² /s)	85
5	TMP	Temperatura (°K)	78
6	QMAX	humedad específica máxima a 2m (kg/kg)	68
7	SHTFL	Flujo de calor sensible (W/m ²)	59
8	SFC_R	Rugosidad de superficie (m)	31
9	LHTFL	Flujo de calor latente (W/m ²)	29
10	U_FLX	Flujo de momento, componente u (N/m ²)	24
11	T_MIN	Temperatura mínima (°K)	20
12	V_FLX	Flujo de momento, componente v (N/m ²)	16
13	SOIL_M	Contenido de humedad del suelo (kg/m ²)	12

Validación del CFS calibrado y sin calibrar

Una vez realizado el proceso de calibración de los datos, se procedió a realizar pruebas para verificar si la corrección estadística se tradujo en una mejora de los pronósticos. Para lo cual se comparó con los datos del CRU, considerados como datos reales y/u observados.

Para la validación se utilizaron los datos retrospectivos calibrados y sin calibrar y se calculó el error cuadrático medio en el espacio (en toda la malla) respecto al CRU, con el fin de comparar las diferencias tanto entre los retrospectivos calibrados como los no calibrados. La relación para el cálculo del error cuadrático medio (rms, por sus siglas en inglés) está dada por:

$$rms = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_o - x_p)^2}}{n}$$

En donde $n=100$, dado que la malla del Conchos se fijó en 100 puntos, cuya matriz es de 10×10 puntos, x_p es el dato de pronóstico retrospectivo de un punto determinado y x_o es el dato observado, que en este caso corresponde al CRU para ese punto, sea calibrado o no, según el caso.

El rms se grafica para los pronósticos del periodo retrospectivo, en el eje x se encuentran los meses del año y en el eje y los meses pronosticados, de tal modo que por ejemplo

en junio, se tienen meses pronosticados de julio hasta marzo del año siguiente. El rms del CFS calibrado es claramente mucho menor al del modelo sin calibrar incluso en los meses de verano donde por lo general es donde se tiene más error en los pronósticos estacionales. En los datos crudos del CFS se observan errores de hasta 1.6 mm/día mientras que en los calibrados el error máximo es de 0.6, más de la mitad de diferencia.

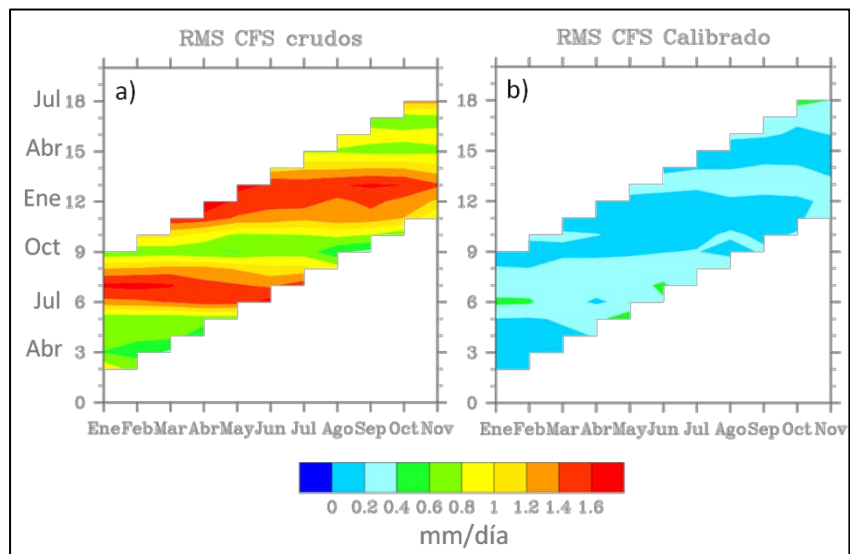


Figura 2.34. Error cuadrático medio para: a) datos crudos y b) datos calibrados del modelo.

Para complementar lo observado en las figuras del rms, se graficó el valor promedio de toda la región para 11 meses del periodo retrospectivos con sus respectivos meses pronosticados. En la cual se muestra que las lluvias más intensas se presentan en verano con valores de 3.5 mm/día=150mm mientras que en invierno son valores de aproximadamente 2mm/día = 60mm) en el

caso de los valores crudos, mientras que en los calibrados, aunque en verano no cambia mucho, la principal diferencia se observa en invierno donde se reduce al rango de 0 a 1 mm/día. Siendo esto último más realista según lo que se observa en la región. Y al comparar los valores del error con los valores totales de precipitación, en el caso de los datos sin calibrar se aprecia que en diciembre

el rms es casi del mismo valor que la precipitación total, mientras que con los datos calibrados además de que el error es pequeño,

no son ni de la mitad del valor total de la precipitación.

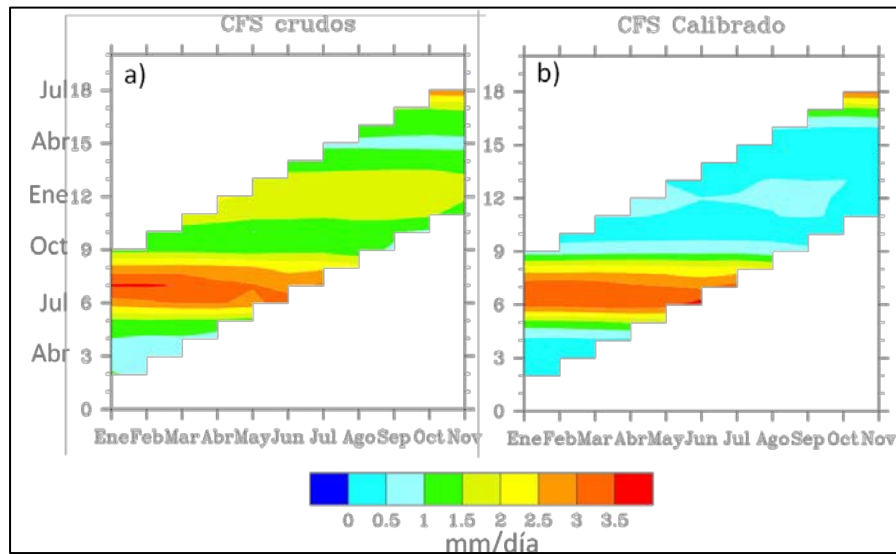


Figura 2.35 Precipitación promedio en la Región del Río Conchos en mm/día para: a) datos crudos y b) datos calibrados del modelo.

A manera de resumen de todo lo anterior, se calculó el ciclo anual de la precipitación del CRU, los datos crudos y calibrados del modelo. Al comparar los datos observados (CRU), contra los retrospectivos tanto calibrados como no calibrados, se observa cómo tras el tratamiento estadístico del MOS, se presenta una mejora evidente en los datos, al ajustarse muy bien la curva calibrada con la del CRU, que son datos reales observados climatológicos, lo cual significa que el modelo en el pasado, ha sido capaz de

reproducir la variabilidad temporal de la lluvia en un periodo comprendido de 1982 al 2010 (29 años).

No obstante, hay que aclarar que aunque el error de la simulación se haya corregido en el pasado, no se asegura que se corrija para el futuro. Razón por la cual hay que tomar con reserva estos resultados, y posteriormente hacer una validación de los pronósticos emitidos ya con la calibración.

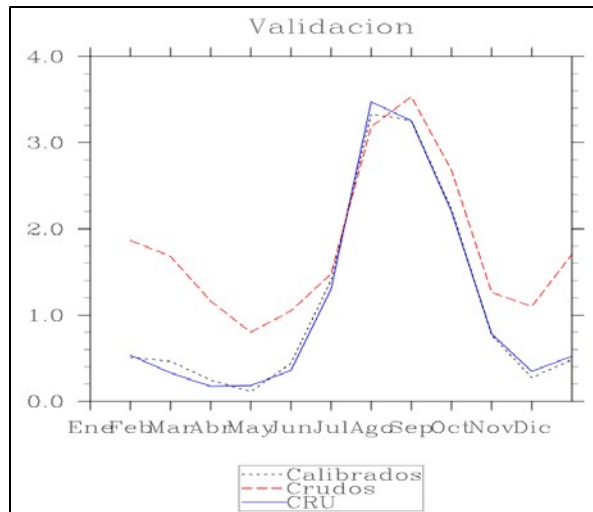


Figura 2.36. Ciclo anual de la precipitación en mm/día para el CRU (línea azul), los datos crudos (línea roja discontinua) y calibrados (línea negra punteada) del modelo CFS

Pronóstico a mediano plazo de precipitación

Después de que se procesaron los datos del CFS para que cubrieran la región de la Cuenca del río Conchos y que se calculó el promedio simple del mes de octubre de precipitación, se aplicó el método estadístico MOS, para realizar una calibración a las salidas del modelo CFS, tanto a las simulaciones retrospectivas como a las futuras, que en este caso fue para los pronósticos del mes de Octubre.

Con las simulaciones calibradas de octubre se calculó la anomalía de precipitación respecto a los datos retrospectivos calibrados, teniendo así anomalías del mes de noviembre de 2012 hasta abril de 2013 para una región cuadrada que contiene la cuenca del río Conchos. En general los valores de anomalías son

pequeños, lo que es de esperarse por la cantidad de precipitación que cae en los meses de invierno y primavera donde por trimestre en promedio llueve menos de 50 mm.

Para el mes de noviembre se esperan anomalías positivas de precipitación en casi toda la cuenca de 0.1 a 0.3 mm. En diciembre, enero y febrero las anomalías son cercanas a cero, sin embargo en la parte occidental de la cuenca se espera una disminución de la precipitación de 0.1 a 0.3 mm/día (3 mm a 9 mm) y en la parte inferior oriental un incremento de 0.1 a 0.3 (3 mm a 9 mm). En marzo las anomalías van de -0.1 a 0.1 mm/día, sin un patrón marcado, mientras que en abril se espera un incremento de precipitación de 0.2 mm/día, en toda la cuenca.

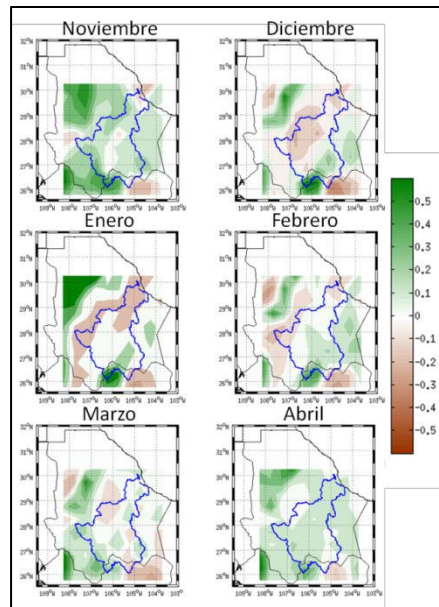


Figura 2.37. Pronóstico de anomalías de precipitación (mm/día) para la cuenca del Río Conchos, emitido en Octubre 2012 para los meses de Noviembre 2012 a Abril 2013.

De las pruebas realizadas a los pronósticos retrospectivos, es decir, lo que el modelo pronosticó en el pasado, se observa que los datos de salida del CFS no están tan alejados de los observados en la época de lluvia, presentando un buen ajuste a la curva de los meses lluviosos y sobrestimando la lluvia en meses de invierno. Tras el tratamiento estadístico mediante el MOS, la curva se ajusta muy bien a la climatología del CRU, lo cual nos indica que el desempeño del modelo, al menos en el pasado, fue muy bueno. Sin embargo, que el comportamiento estadístico del modelo en el pasado haya sido óptimo, no significa necesariamente que deba cumplirse Pronóstico a mediano plazo de escurrimiento

El pronóstico climático estacional de mediano plazo es importante para el monitoreo de

en el futuro, por lo cual en cada pronóstico debe tomarse en cuenta las deficiencias asociadas al uso de este método de regionalización y/o calibración.

A partir del pronóstico de octubre se espera un ligero aumento en la precipitación (de 0.1 a .3 mm/día) en la parte occidental de la cuenca durante los próximos seis meses, los cuales corresponden a la época invernal. Con el desarrollo de este trabajo, se ha implementado un sistema de pronóstico de lluvias para la región del Conchos en el IMTA.

sequía, debido a que nos permitiría emitir alertas tempranas de ocurrencia del evento hasta con nueve meses de anticipación.

3. MONITOREO DE LA SEQUÍA Y APLICACIÓN DEL SDI A DIVERSAS ESCALAS TEMPORALES EN LA CUENCA DEL RIO CONCHOS

3.1. Monitoreo y seguimiento del fenómeno

Al fenómeno de la sequía se le conoce más por sus efectos que por sí mismo; esto es, dado el amplio espectro del fenómeno, su persistencia y sus características tan particulares y a la vez tan elusivas, podría decirse que aún las definiciones más amplias y completas se quedan cortas en acotar lo que se pretende definir.

3.2. Métodos de análisis

El análisis de las sequías se puede enmarcar en cuatro aspectos principales (Goldman, 1985)

1.- Determinación de la naturaleza del déficit de agua, es decir, qué tipo de sequía se requiere analizar y de qué elementos o información se disponen y requieren.

2.- Identificar el tiempo y periodos de análisis: de acuerdo con el tipo de sequía, los periodos de análisis pueden ser diarios,

semanales, mensuales, estacionales, anuales, etc.

3.- Establecer un nivel de truncamiento (NT) acorde con los dos puntos anteriores, que refleje la realidad de la demanda respecto a los suministros disponibles.

4.- Estimar el alcance regional del fenómeno, ya que por lo general, la sequía abarca grandes áreas geográficas y el análisis de unos pocos sitios puede ser insuficiente para apreciar su dimensión real.

En la medida en que las sequías se han vuelto catastróficas, o los sistemas de uso del agua son más vulnerables, han adquirido importancia como fenómenos que requieren análisis detallados, y aunque no se ha llegado a certezas definitivas en su tratamiento, sí se han obtenido avances importantes que permiten conceptualizar y abstraer el problema; ello ha llevado a generar métodos e índices que de alguna manera pretenden caracterizar el fenómeno desde diversas perspectivas. Así, se han generado indicadores relacionados sólo con la lluvia, con la lluvia y la temperatura, con el agua en el suelo y las características de los cultivos, con los índices climáticos y la evapotranspiración, entre otros (WMO, 1975).

Nalbantis y Tsakiris en el año 2008 presentaron un índice para caudales denominado Streamflow Drought Index y de acuerdo a su metodología, la relación de

sequía entre cuatro aspectos, severidad-duración-frecuencia-área, se reduce a solo dos, severidad vs frecuencia. Se supone que en 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. Basado en esta serie se obtiene:

$$V_{i,k} = \sum_j^{3k} Q_{i,j}$$

Donde

$i = 1, 2, 3 \dots j$ y $k = 1, 2, 3, 4$

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

Basado sobre 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:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k}{S_k}$$

Donde 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.

De igual forma como las demás metodologías para la obtención de los índices de sequía meteorológicos, la clasificación por categorías del SDI se muestra en el Tabla 3.1:

Tabla 3.1- Definición de estados de la sequía hidrológica mediante el SDI

Estado	Descripción	Criterio	Probabilidad %	Período de retorno
0	Sin Sequía	$SDI \geq 0$	50.5	2 años
1	Sequía Ligera	$-1 \leq SDI < 0.0$	34.1	2.9 años
2	Sequía Moderada	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	9.2	10.9 años
3	Sequía Severa	$-2 \leq SDI < -1.5$	4.4	22.7 años
4	Sequía Extrema	$SDI < -2.0$	2.3	43.5 años

En la figura 3.1 se muestran los resultados de la aplicación de la metodología para el cálculo del SDI para cada una de las corrientes

principales que conforman la cuenca del río Conchos.

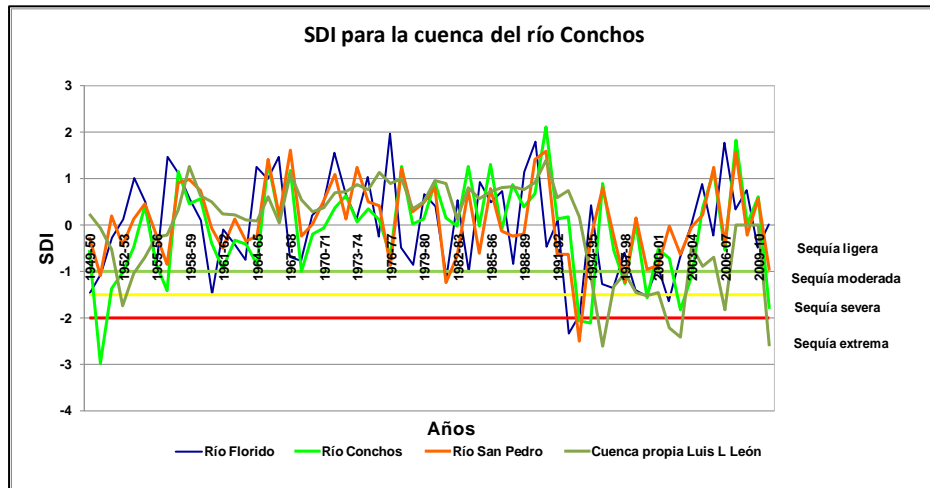


Figura 3.1. SDI para los ríos principales de la cuenca del río Conchos.

Como se puede observar en la figura 3.1 el periodo crítico con sequía para todas las

corrientes que conforman el río Conchos es de 1993 a 2003.

4. ACCIONES PARA AFRONTAR LA SEQUÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y DE AGUA POTABLE

4.1. Fases de ocurrencia de la sequía y déficit de agua

Las sequías representan un peligro potencial para el aprovechamiento normal de los sistemas hídricos. Como desencadenantes de situaciones de escasez en los suministros de agua, deben ser objeto de gestión. Es necesario que la gestión de las sequías y la escasez hídrica involucre actuaciones de corto, mediano y largo plazo. Se requiere que dichas acciones estén vinculadas a la planificación de los sistemas hídricos que administran las organizaciones de usuarios de aguas (OUA), así como a la operación de los mismos. Cada lugar del país se ve enfrentado a condiciones climáticas, territoriales y culturales distintas. Por ende, el problema de las sequías se enfrentará de acuerdo a estos factores y al marco legal e institucional existente. Las soluciones se adaptan a cada situación particular, pero en la toma de decisiones de gestión siempre se encuentran, al menos de forma implícita, los principios de la valoración y gestión de riesgos.

En la fase incipiente, los análisis de detalle cada tres meses permitirán seguir de cerca la evolución del fenómeno y, eventualmente, avizorar incrementos en su gravedad. Cuando se detecta

esta fase, en sus primeros síntomas, es oportuno activar la alerta temprana: avisar a todos los usuarios del riesgo cercano de una posible escasez, para que la población y las autoridades tengan oportunidad de tomar las precauciones necesarias. El principal indicador es cuando no se alcanza a cubrir el total de la demanda, y se presenta un déficit no mayor del 10% de la demanda media. Si esto ocurre, las dependencias e instituciones relacionadas con el problema deben hacer público tal hecho, además de que los representantes de cada sector usuario también lo hagan con sus respectivos representados, todo ello con el fin de poner sobre aviso a los usuarios de la posibilidad de en un futuro cercano el déficit se incremente. Es la fase apropiada para revisar las estrategias disponibles, actualizarlas y ponerlas en condición de operar de inmediato. Los usos no prioritarios ni esenciales se limitan y se activa la campaña de ahorro.

En la fase moderada, análisis mensuales son suficientes para tomar las medidas pertinentes que permitan tener bajo control la situación. Aunque aún la situación no es tan difícil, pues el déficit no pasa del 20%, sí se debe tener presente el riesgo de incremento en la escasez y los consecuentes problemas. Por ello, las restricciones que se establecen deben atenderse puntualmente por todos los usuarios, e inician las sanciones por su no observancia. El racionamiento que inicia en esta etapa debe

servir para estimular el ahorro, y los usos no prioritarios deben suspenderse totalmente.

Si la sequía está en *fase severa*, la situación de alarma generalizada obliga a hacer análisis semanales e incluso más frecuentes del desarrollo de la emergencia, ya que es preciso mayor detalle del comportamiento de la situación en general, tanto de demanda como de abasto, y la conveniencia y necesidad de conocer cómo evolucionan las condiciones ambientales es imprescindible para que las decisiones sean las más adecuadas. En esta fase, las condiciones de baja disponibilidad y el pronóstico poco favorable hacen que las restricciones se observen minuciosamente, y que las faltas se sancionen indefectiblemente. Los métodos y mecanismos para ahorro de agua están en su totalidad activados, y sólo los usos esenciales están permitidos. La difusión y vigilancia de las disposiciones y la participación de los usuarios son cruciales para que las disposiciones oficiales tengan efecto y además son de carácter obligatorio.

En la *fase crítica*, las condiciones imponen que la recopilación de información, su análisis y las decisiones a realizar sean diarios. El déficit va del 35 al 50% y es tal la gravedad de la emergencia que requiere la coordinación más estrecha y oportuna entre las diversas partes, para que de manera conjunta se tomen y ejecuten las decisiones que impidan más deterioro y el

eventual colapso. En estas condiciones la tensión por la insuficiencia de agua es tan tirante que el riesgo de conflictos aumenta sensiblemente hasta convertirse en un potencial detonador que conduzca al caos, sobre todo cuando no se satisfacen los requerimientos mínimos para consumo humano. Esta es una situación muy delicada, donde la imparcialidad, justicia y equidad adquieren su mayor dimensión, y son más que indispensables para contener la inestabilidad social. Sin excepción, sólo los usos más prioritarios tienen asignación limitada, y es precisa una vigilancia estricta de su cumplimiento. La difusión informativa y de orientación permanente tiene un valor clave en las respuestas de la población a las estrategias implementadas por el organismo rector de atención del fenómeno.

Aunque no siempre es admisible, porque no debiera llegarse a estos niveles de déficit, es posible alcanzar una *fase catastrófica*, cuando el déficit es mayor del 50% de la demanda. En estos casos, lo más importante es proteger el consumo humano, y tener un cuidado extremo para que la situación no avance. Ello impone un seguimiento de la situación continuo y constante, con registros horarios y con la mayor expectativa en cuanto al pronóstico y evolución de las condiciones. En consecuencia, la difusión, vigilancia y control de los volúmenes que se usen y cómo se usen alcanzan su máxima expresión.

4.2. Estrategia general para afrontar las sequías

Las dependencias como CONAGUA son responsables de la administración global del agua y de que este recurso alcance el objetivo de atender necesidades de interés nacional, tanto sociales como económicas, y en ello deben participar instituciones y organismos afines o relacionados, así como representantes de sector usuario; a nivel local, además de lo anterior, es también importante que los usuarios participen en los análisis y decisiones que competen al sistema del que se sirven; no implica que sean dueños del mismo, sino concesionarios del recurso y las obras, propiedad de la nación (como son los actuales módulos de riego en los DR y UR, así como los OOAPS), para su mejor funcionamiento y aprovechamiento. La participación directa y decidida de los usuarios –a través de sus representantes– en la decisión y responsabilidad de administrar el agua es un aspecto que le da el carácter de recurso comunitario, orientado a satisfacer las necesidades de la población en general con sentido social.

La estrategia más importante para mitigar sus efectos consiste en *contar con planes de contingencia, donde se incluyan acciones preventivas y de mitigación*. Es necesario también trabajar en

el seno de los Consejos de Cuenca, en la elaboración de los reglamentos que serán aplicados en condiciones de sequía. En ellos se establecerán los volúmenes correspondientes a cada uno de los usos del agua ante diferentes condiciones de escasez y los mecanismos que permitirán verificar su cumplimiento. En la medida en que las fases de la sequía son más severas, también son necesarios los requerimientos de información para mejorar las decisiones. Para estos requerimientos se incrementa la frecuencia y cantidad de la información relacionada con lluvias, temperaturas, almacenamientos, niveles del agua, volúmenes extraídos y demandados, etc. Así, la frecuencia de los datos llega a ser diaria e incluso horaria, y para ello es necesaria la participación de otras dependencias e incluso de la misma población civil. Para obtener la mayor utilidad de este proceso, la información debe fluir con oportunidad a través de cauces convenientemente establecidos, hasta llegar a las instancias de análisis y decisión. Los formatos, tiempos y formas de recopilación, envío, análisis, difusión y puesta en práctica de las decisiones debe estar especificada para cada nivel o fase de la emergencia; así, es la organización multidisciplinaria de la que forman parte todas las instituciones, dependencias y representantes de los usuarios, la que debe generar estos detalles, para cada caso y fase del fenómeno.

El cuándo está referido básicamente a la frecuencia con que se debe analizar la situación, lo cual a su vez depende de las condiciones o fases de la sequía: si el déficit no existe, una revisión de las condiciones hídricas generales cada seis meses será suficiente, sobre todo al inicio del ciclo agrícola-hidroológico, que es cuando se define y asignan los volúmenes por derecho, según sea la disponibilidad, las expectativas y los requerimientos y planes de los usuarios. Esto es, al 1 de octubre de cada año, con base en las condiciones imperantes, es cuando se hace la asignación anual. A fines de marzo se hace una revisión, para en su caso hacer los ajustes necesarios, ya sea a la baja con algunas restricciones por un comportamiento de la lluvia y el escurrimiento menores a lo esperado, y en general por la evolución completa del medio

ambiente y del uso del agua, o bien a la alta, cuando las condiciones esperadas son superadas y se tiene oportunidad de realizar segundos cultivos, por ejemplo, o de destinar el agua disponible para otros usos como recarga de acuíferos, sustitución del bombeo, combate de malezas, etcétera.

Es inobjetable que uno de los aspectos más importantes en afrontar las sequías es la organización firme y estrecha entre las diversas partes: los administradores del recurso y los usuarios. Como la sequía afecta a toda la sociedad, entonces también toda la sociedad debe involucrarse en buscar y encontrar opciones viables que permitan soportar el embate y mitigar sus efectos.

Tabla 4.1. Fases progresivas de una sequía, y acciones y recomendaciones básicas para afrontarla.

Fase	Acciones de las Autoridades	Acciones de los usuarios sectoriales e individuales	Recomendaciones
1 Incipiente Comienza la sequía; reducción en la oferta de agua es de 5 a 10% respecto a la demanda.	Campaña inicial de información: alerta para disminuir los usos no esenciales, y difusión de pronósticos y de acciones necesarias si la situación empeora. Levantamiento de censos y elaboración de estadísticas para conocer el uso y asignación del agua. Formulación de una propuesta para disminuir la asignación a los usos secundarios.	Los usuarios deben moderar su consumo de agua y restringir los usos no prioritarios voluntariamente. Los grandes usuarios deben revisar sus planes de contingencia.	Campaña educativa para evitar el desperdicio del agua. Revisión de las instalaciones y dispositivos de medición y control hidráulico.
2 Moderada.	La campaña de información se	Los usuarios comerciales	Se intensifica la campaña

Fase	Acciones de las Autoridades	Acciones de los usuarios sectoriales e individuales	Recomendaciones
<p>La disponibilidad de agua es del 10 al 20% inferior respecto a la demanda. Algunas medidas son voluntarias, pero otras ya son obligatorias.</p>	<p>intensifica e incluye aspectos técnicos del problema. Se formula la etapa inicial de racionamiento y se da a conocer. La aplicación del riego sólo es permitida en las horas de menor insolación. Prohibición total de usos no prioritarios. Instrumentación de las primeras medidas de multas por exceso o uso indebido del agua, con base en leyes y reglamentos. Prohibido lavar con manguera vehículos, banquetas y calles.</p>	<p>e industriales instrumentan sus planes de acción, destacando entre ellos el reúso y/o recirculación del agua para sus procesos. Todos los usuarios se sujetan a las restricciones y prohibiciones.</p>	<p>informativa y educativa. Se instalan dispositivos ahorradores de agua y se mejoran los de control. Inicia la aplicación de sanciones por uso excesivo o indebido; en reincidencias, se suspende temporalmente el servicio.</p>
<p>3 Severa. El déficit de agua es de 20 a 35% en relación con la demanda. Las medidas de reducción y restricción en el uso del agua son obligatorias.</p>	<p>Se aplican las medidas y programas de racionamiento, y las sanciones por su no observancia. Los usos domésticos deben disponer de equipos de bajo consumo. El suministro se realiza sólo para los usos esenciales, con estricto tandeo y restricciones en volumen. La campaña de información es intensa y en detalle, apoyada en todos los medios. La evolución del estado de emergencia se registra permanentemente, y los pronósticos y evaluaciones se realizan todos los días para detectar cualquier variación.</p>	<p>Los usuarios son conminados a apearse totalmente a las restricciones y racionamientos del plan de emergencia. La vigilancia entre sectores y usuarios es continua para evitar desperdicios y conflictos, tomas clandestinas y usos no autorizados. Los grandes usuarios operan de acuerdo con sus planes de contingencia y se sujetan sólo a los volúmenes autorizados.</p>	<p>Se incrementan las sanciones y se restringe más el consumo. Sólo se autorizan usos prioritarios con volúmenes mínimos. Si se detectan y persisten usos indebidos, se suspende el suministro, se aplican las sanciones y se disminuye la dotación. Es obligatorio mejorar las instalaciones y dispositivos.</p>
<p>4 Crítica. El déficit de agua está entre el 35 y 50% respecto a la demanda. Las</p>	<p>Todas las restricciones y racionamientos alcanzan su máxima intensidad; las dotaciones son mínimas y acordes con los esquemas de prioridad, exclusivamente para los usos más</p>	<p>Los usuarios deben cumplir estrictamente con el plan de racionamiento. Todo ahorro de agua es</p>	<p>Se aplican las sanciones y penas más severas; por faltas, la suspensión del servicio puede ser indefinida. La</p>

Fase	Acciones de las Autoridades	Acciones de los usuarios sectoriales e individuales	Recomendaciones
reducciones, restricciones y observancia de los planes de contingencia son rigurosamente observadas y sancionadas.	elementales, sin excepción. Los tandeos son rigurosamente observados. La vigilancia es extrema y continua sobre el funcionamiento de los sistemas de conducción, distribución y medición; cualquier anomalía se atiende de inmediato. Todos los usuarios se ajustan a su dotación y se resuelven los conflictos entre ellos. Las contingencias ambientales se atienden de acuerdo con los ordenamientos de ley y entran en función los planes de emergencia apoyados por todos los niveles de gobierno. La campaña de información, seguimiento y educación alcanza su mayor intensidad y es permanente.	crucial, por lo que no debe haber desviaciones ni desperdicios. Los dispositivos de medición, control y uso deben funcionar en estado óptimo. Los usos no residenciales se reducen al mínimo o se suspenden. La recirculación, tratamiento y reúso de agua son importantes como opciones para elevar la disponibilidad.	participación de los usuarios en el manejo, cuidado y vigilancia en el uso del agua son determinantes para evitar el aumento del problema y el eventual colapso total.
5 Catastrófica El déficit de agua es superior al 50% de la demanda. Son las condiciones más drásticas, de sobrevivencia.	El agua disponible se asigna únicamente para los usos más prioritarios y en cantidades muy limitadas. La asistencia social y los planes de emergencia son constantes con el apoyo de las autoridades de todos los niveles. El agua se distribuye con el máximo de precaución para evitar pérdidas y conflictos. Es una etapa de espera hasta que las condiciones mejoren.	Usan el agua sólo para lo estrictamente autorizado y con el mínimo de volumen. No se permite ningún exceso. Los usos más prioritarios con la menor dotación. Los excedentes se distribuyen a los demás usuarios.	Cero desperdicios y cero tolerancias. Los mecanismos de medida y control funcionan correctamente y se supervisan con frecuencia.

4.3. Medidas estratégicas

La estrategia general para la planeación, administración y asignación de los recursos hídricos consiste en aplicar políticas más

estrictas, mayores incentivos económicos para mejorar las eficiencias en las redes de abastecimiento municipales. Esto deberá basarse en un cambio de percepción respecto al agua la cual no es solo una necesidad básica

humana sino también una parte integral de los ecosistemas, un recurso natural y un bien social y económico. La vulnerabilidad frente a una sequía es compleja, por lo que es necesario comprenderla para así poder diseñar estrategias de preparación y mitigación, al igual que políticas y programas de ayuda. El riesgo no puede eliminarse por completo pero estos planes sirven para mitigar considerablemente sus efectos.

Las acciones para enfrentar la sequía dentro de la cuenca consisten en:

- Incrementar la cobertura de los servicios de agua potable prestando atención especial a las zonas donde hay grupos sociales desprotegidos
- Conservar los acuíferos y la calidad de sus aguas para un mejor aprovechamiento
- Mejorar el suministro de agua para la agricultura y el resto de los sectores
- Prevenir situaciones de emergencia
- Usar específicamente el agua, induciendo patrones de reutilización del agua que maximicen su aprovechamiento en el sector agrícola y doméstico a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futuras del recurso
- Desarrollar un mercado del agua con criterios económicos y ambientales apoyando el proceso con seguridad jurídica a los usuarios

En el caso de los sistemas de distribución de agua potable en poblaciones se llevará a cabo la programación del racionamiento de agua y suministro mediante medios no convencionales ya que esta es una parte crítica para el éxito del plan de manejo de sequías en un sistema de distribución. Es necesario conocer el sistema y las características de operación de sus componentes, así como el comportamiento y la demanda de la población. Esta programación está supeditada a los volúmenes de agua producidos y entregados al sistema de distribución a partir de un abastecimiento matriz (líneas de conducción) y al estado en que se encuentran los componentes, así como a la disponibilidad de energía eléctrica, ya sea a partir de las redes de transmisión o de grupos electrógenos.

Se deberán determinar las dotaciones diarias en volumen, caudal y presión para todos los sectores de servicio. Un aspecto muy importante para el éxito del programa y la aceptación por parte de la población es el establecimiento de los lugares y las fechas de abastecimiento a los sectores más críticos mediante camiones cisterna o fuente alternas (pozos particulares). Del mismo modo, el abastecimiento a través de la red pública debe considerar los siguientes criterios:

Los horarios de servicio que se determinen deben ser difundidos convenientemente a la población a través de los medios de

comunicación masiva, y los sectores afectados deben definirse con claridad. Una vez establecidos los horarios, estos deberán cumplirse puntualmente. Es preferible dar un buen servicio en horas determinadas que dar un mal servicio durante todo el día. Con estos criterios se programarán los movimientos de válvulas y la operación de reservorios y estaciones de bombeo. El programa se irá perfeccionando conforme haya modificaciones estables en los caudales de agua captada, producida y distribuida, y en el suministro de energía eléctrica.

Las acciones específicas que se plantean consisten en:

- Incrementar la cobertura de los servicios de agua potable prestando atención especial a las zonas donde hay grupos sociales desprotegidos
- Conservar los acuíferos y la calidad de sus aguas para un mejor aprovechamiento
- Mejorar el suministro de agua para la agricultura y el resto de los sectores
- Prevenir situaciones de emergencia
- Usar específicamente el agua, induciendo patrones de reutilización del agua que maximicen su aprovechamiento en el sector agrícola y doméstico a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futuras del recurso
- Desarrollar un mercado del agua con

criterios económicos y ambientales apoyando el proceso con seguridad jurídica a los usuarios

Se deberá considerar el incremento de explotación de aguas subterráneas en esquemas de uso conjunto, la modificación de políticas de operación de presas y embalses que se encuentran dentro de la cuenca del río Conchos así como la activación del funcionamiento de los Centros de Intercambio de Derechos de Uso del Agua, la cosecha y conservación de agua, y la implementación de tecnologías ahorradoras de agua como son el reúso de aguas grises, aseguramiento de cultivos, participación ciudadana, medidas de adaptación ante cambio climático. De igual manera se deberán considerar los desarrollos tecnológicos que permitan obtener plantas con mayor resistencia a la sequía y la salinidad.

La reutilización del agua, en particular, las aguas residuales tratadas de los centros urbanos, puede desempeñar un papel importante en la producción agrícola en zonas áridas. La modernización de sistemas de riego; la agricultura, tal y como se practica hoy en día, representa el 70 por ciento del total del uso de agua dulce: los antiguos sistemas de riego por canales deben modernizarse para responder a las necesidades de los agricultores del futuro y permitir un

uso más eficiente del agua y aumentar la productividad.

El riego del futuro será cada vez más por mangueras y combinará diferentes fuentes de agua, incluyendo las aguas subterráneas, de una manera sostenible. Una manera más sistemática en el uso seguro de esta agua puede impulsar la producción local.

4.4. Medidas tácticas

Las medidas tácticas son actuaciones a corto plazo planificadas y validadas con anticipación en el marco del plan de sequía. Se activan en las fases de prealerta y alerta. Entre ellas cabe destacar:

En la tabla 4.2 se muestran los procedimientos y medidas conservacionistas tácticas que deberán aplicarse a la cuenca del río Conchos:

Tabla 4.2 Procedimientos y medidas tácticas

TECNOLOGÍAS CONSERVACIONISTAS	PROCEDIMIENTOS	
Ordenamiento de cuencas.	Control y manejo del agua superficial. Control de avenidas y la erosión. Protección y manejo del agua subterránea	
Aprovechamiento del agua.	Almacenamiento a largo plazo	Embalses pequeños y medios Embalses grandes. Estratos acuíferos subterráneos
	Almacenamiento a corto plazo	Cosecha de agua de lluvia Microtanques Reservorios especiales Conservación <i>in situ</i> en el suelo Terrenos con pendientes
	Riego a pequeña escala. Tratamiento de agua contaminada. Riego con aguas residuales (Reúso)	
Protección de agua y suelo	Labranza mínima. Utilización de abonos, compost y abonos verdes. Preparación de tierras para sembrar Cultivos en franjas e intercalados. Cultivos en camellones y camellones en cuevas de nivel. Agro-silvicultura.	

TECNOLOGÍAS CONSERVACIONISTAS	PROCEDIMIENTOS
	Rotación de cultivos. Cultivos resistentes a la sequía

4.5. Medidas de actuación en situación de emergencia

Las condiciones de sequía, fenómeno cada vez más recurrente en México y en el mundo, debe hacernos reflexionar sobre cómo abordar de forma más eficiente la producción agrícola y el consumo humano en zonas donde la restricción de agua es una severa limitante. En general estas zonas presentan altos niveles de pobreza por lo que se busca incorporar alternativas de mayor rentabilidad que contribuyan a la diversificación de los sistemas productivos. Dado que el agua es un recurso limitado, se requiere un uso eficiente, que haga compatible la satisfacción de las demandas con el respeto al medio ambiente y a los demás recursos naturales. La creciente presión de la demanda sobre este recurso vital e insustituible y la necesidad de preservar el medio natural hacen indispensable la implementación de medidas como lo es la gestión integrada del agua.

El concepto de gestión integrada del agua engloba a los proyectos como resultado de un proceso que considera todos los usos del agua, incluido el medio ambiente y los conflictos entre los usuarios y los usos son resueltos mediante una mayor oferta, pero también

mediante la innovación institucional y el manejo de la demanda.

La estrategia general para la planeación, administración y asignación de los recursos hídricos consiste en aplicar políticas más estrictas, mayores incentivos económicos para mejorar las eficiencias en las redes de abastecimiento municipales. Esto deberá basarse en un cambio de percepción respecto al agua la cual no es solo una necesidad básica humana sino también una parte integral de los ecosistemas, un recurso natural y un bien social y económico. La vulnerabilidad frente a una sequía es compleja, por lo que es necesario comprenderla para así poder diseñar estrategias de preparación y mitigación, al igual que políticas y programas de ayuda. El riesgo no puede eliminarse por completo pero estos planes sirven para mitigar considerablemente sus efectos.

Paradójicamente la principal medida para gestionar correctamente el riesgo es la disponibilidad de valoraciones actualizadas del mismo, lo cual, en episodios como las sequías, sometidos a unas peculiaridades especialmente dinámicas, resulta particularmente necesario. se entiende como

la valoración del riesgo a la caracterización genérica de cada sistema de abastecimiento; en la gestión, la valoración se debe interpretar como una evaluación del escenario presente, recogiendo las modificaciones de carácter definitivo acaecidas desde la evaluación genérica pero sobre todo incorporando todos los factores de carácter coyuntural que puedan ser causa de una variación en el riesgo que soporta un sistema, tales como infraestructuras temporalmente fuera de servicio, nuevas pautas de consumo, etc.

En la gestión, las actuaciones tendentes a minimizar el riesgo se agrupan en dos grandes líneas, las de tipo estructural, con soluciones estables de largo plazo, y las ocasionales, que persiguen la adecuación de las medidas a la gravedad de los escenarios y su desactivación cuando la problemática desaparezca.

Entre las de tipo estructural o permanentes cabe destacar la gestión de las demandas y el incremento de recursos permanentes.

4.6. Estrategias de gestión de sequías

La tecnología disponible permite ocupar poderosas herramientas como los sistemas de información geográfica y modelos de optimización, capaces de manejar gran cantidad de información y de generar diferentes escenarios a partir de los cuales se

pueden establecer políticas que permitan mitigar el problema de escasez de agua para fines agrícolas o de consumo humano. En esta guía se plantea el uso de la plataforma *Riverware* para llevar a cabo la planeación de los recursos hidráulicos dentro de la cuenca del río Conchos.

Para la gestión de los recursos hídricos se plantearon diferentes escenarios para simular diferentes políticas de operación usando la plataforma *Riverware*. En la búsqueda de opciones para la distribución del agua en condiciones de sequía en la cuenca del río Conchos, cuando la demanda supera a la oferta, es necesario establecer criterios que permitan mantener garantías en el suministro del agua para riego, ante la imposibilidad del sistema para satisfacer la demanda concesionada a los usuarios. El análisis parte de la definición de una serie de escenarios o alternativas de funcionamiento, que han sido simuladas en el modelo desarrollado.

El desarrollo del modelo en la cuenca del río Conchos se realizó en la plataforma *RiverWare* a una escala de tiempo mensual. El modelo cuenta con tres tipos de políticas de asignación para el agua superficial, constante, variable tipo escalón y variable tipo GASIR. En el caso del agua subterránea la asignación se realiza de forma constante.

El modelo permite seleccionar si el déficit que se presente en los distritos de riego pueda ser cubierto o no con agua subterránea. Así mismo es posible incrementar la eficiencia de conducción para poder tener un mayor aprovechamiento del recurso.

El modelo está listo para simular las alternativas que se quieran proponer, ya sea considerando modificaciones en el escurrimiento o modificaciones en las políticas de operación. Considera la combinación del manejo del agua superficial y subterránea.

Se probaron diferentes escenarios de simulación para probar el comportamiento de la cuenca ante la posibilidad de reproducirse un periodo de sequía similar al ocurrido en 1993 a 2003, después de 2011, lo que incrementó el registro en 10 años quedando finalmente un registro de escurrimientos de 1949 a 2022, adicionalmente el periodo que de 10 años que se incrementó el registro de escurrimiento se redujo en un 5, 10,15 y 20% para evaluar el caso de que la sequía fuera más severa.

Los resultados encontrados con el registro original, 1949-2011, indican que el utilizar una política variable tipo GASIR es la opción que permite el mayor aprovechamiento del recurso, sin presentar déficit en el volumen autorizado, sin embargo si los próximos 10 años presentaran sequía en algún grado se

presentaría falla en la política planteada. Para cubrir el déficit al incrementar el registro con escurrimientos considerados con sequía se simularon los escenarios considerando la alternativa de extraer el faltante del acuífero correspondiente a cada distrito de riego, con lo que se logró eliminar el déficit presentado.

También se probó eliminar el déficit presentado incrementado en un 20% la eficiencia de conducción, sin embargo, no se logra eliminar el déficit en su totalidad, por lo que se recomienda cubrir el déficit presentado con agua subterránea.

Se recomienda la conveniencia de buscar políticas óptimas caracterizadas por una función que depende del almacenamiento el 1° de octubre y permite variaciones en la entrega con un valor mínimo del 50% del volumen concesionado y un máximo igual a dicha concesión, ya que esto permite disminuir significativamente el déficit del recurso en caso de presentarse épocas con bajo escurrimiento. Los parámetros de las políticas de operación de cada uno de los almacenamientos se deberán buscar con un modelo de optimización en el que la función objetivo planteada sea maximiza la extracción anual y minimice el déficit entre el volumen propuesto y la extracción posible.

Escenarios Base

Como primera parte de la modelación se lleva a cabo la simulación del escenario base esto es

Básicamente, es aquello en lo que se puede trabajar para interpretar una realidad.

Se formularon diversas alternativas no estructurales para el mejor manejo del agua en la cuenca que comprenden básicamente reglas para el control de la oferta, a través de la restricción del agua superficial destinada a la irrigación.

Las alternativas propuestas de control de oferta plantean la definición de reglas o políticas de asignación variables.

El concepto de garantía aplicado a los sistemas de explotación de recursos hídricos se refiere a la capacidad de dichos sistemas para satisfacer ciertas demandas en un momento dado. La insatisfacción de dichas demandas da lugar a una situación de fallo o déficit. Los fallos se catalogan de acuerdo con la frecuencia, intensidad y magnitud del fallo.

En la literatura existen diversos criterios para normar las demandas, todos enfocados a satisfacer los requerimientos de los usuarios con una garantía de acuerdo con el uso, ya sea agrícola o agua potable, y la región de que se trata (Estrada, 1994). En regiones donde la demanda supera a la oferta es necesario establecer criterios que permitan mantener garantías en el suministro del agua para riego, ante la imposibilidad del sistema para satisfacer la demanda concesionada al distrito.

La mayoría de los criterios de garantía establecen que el volumen mínimo a garantizar para el suministro del uso agrícola no deberá ser inferior al 50% de la demanda anual.

Para el caso del manejo del agua subterránea se consideran políticas constantes en donde siempre se autorizara el volumen concesionado.

Políticas de asignación constante

Para sensibilizarse en el funcionamiento del sistema se establecieron políticas de asignación constante en las que se asignó el volumen máximo concesionado para determinar si el sistema es capaz de satisfacer las demandas sin presentar déficit.

En la tabla 5.3 se presenta el volumen promedio anual entregado a cada uno de los distritos de riego que se abastecen de agua superficial, para un periodo de simulación de 1949 a 2011, considerando una política de asignación constante al 100% del volumen concesionado.

En el caso de la distribución del agua subterránea en la tabla 5.3 y 5.4 se presentan los resultados del volumen promedio anual entregado a cada usuario, por acuífero.

Los resultados mostrados en la tabla 5.5 muestran que al autorizar el 100% del volumen concesionado a los distritos de riego

todos los años, sería imposible de cubrir, ya que todos los usuarios presentarían déficit en el volumen entregado, en alguno de los años simulados.

Se buscó el volumen máximo que se podría entregar de forma constante sin presentar déficit. En la tabla 4.3 se presentan los resultados obtenidos. Para el caso del agua subterránea los resultados en esta simulación no presentan modificación.

Tabla 4.3. Resultados de la simulación, políticas constante al 100% del volumen concesionado, agua superficial.

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
DR005 - Delicias	Fco. I. Madero (18.5% de la demanda)	209.15	209.15	197.00	12.15	5.81	136.24	65.14
DR005 - Delicias	La Boquilla (81.5 % de la demanda)	921.39	921.34	801.50	119.84	13.01	603.13	65.46
DR090 - Bajo Río Conchos	Luis L. León	84.99	84.99	80.61	4.38	5.16	52.58	61.87
DR103 - Río Florido	San Gabriel (80% de la demanda)	85.34	85.34	81.29	4.05	4.74	51.69	60.57
DR103 - Río Florido	Pico del Águila (80% de la demanda)	21.34	21.34	20.38	0.96	4.48	13.59	63.71
Tratado	Luis L. León	215.85	215.85	205.70	10.15	4.70	127.14	58.90
Suma		1538.07	1538.01	1386.47	151.53	37.90	984.37	375.65
Salida del sistema				454.87				
Entrega total EU				660.58				

Tabla 4.4. Resultados de la simulación, políticas constante al 100% del volumen concesionado a las ciudades, agua subterránea.

Ciudad	Acuífero	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
Camargo	JIMENEZ-CAMARGO	11.08	11.08	11.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Chihuahua	TABALAOPA-ALDAMA	2.21	2.31	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Delicias	MEOQUI-DELICIAS	22.58	22.58	22.58	0.00	0.00	0.00	0.00

Ciudad	Acuífero	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
Hidalgo del Parral	PARRAL-VALLE DEL VERANO	12.01	12.01	12.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Jiménez	JIMENEZ- CAMARGO	1.77	1.77	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00
Meoqui	MEOQUI- DELICIAS	13.06	13.06	13.06	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.5. Resultados de la simulación, políticas constante al 100% del volumen concesionado, unidades de riego, agua subterránea.

Clave acuífero	Unidad de riego	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
0830	CHIHUAHUA- SACRAMENTO	44.49	44.49	44.49	0.00	0.00	0.00	0.00
0831	MEOQUI- DELICIAS	220.861	220.86	220.86	0.00	0.00	0.00	0.00
0832	JIMENEZ- CAMARGO	559	540.97	559.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0834	PARRAL-VALLE DEL VERANO	8.76	8.48	8.76	0.00	0.00	0.00	0.00
0835	TABALAOPA- ALDAMA							
0836	ALDAMA-SAN DIEGO	20.7	20.70	20.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0837	BAJO RIO CONCHOS	10.93	10.93	10.93	0.00	0.00	0.00	0.00
0838	ALTO RIO SAN PEDRO	11	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0843	BOCOYNA	0.15	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
0844	VALLE DE ZARAGOZA	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
0846	CARICHI- NONOAVA	0.82	0.82	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00
	Laguna de Mexicanos	21.4	21.40	21.40	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.6. Resultados de la simulación, políticas constante sin presentar déficit, agua superficial.

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
DR005-Delicias	Fco. I. Madero (18.5% de la demanda)	209.15	135.95	135.95	0.00	0.00	0.00	0.00
DR005-Delicias	La Boquilla (81.5 % de la demanda)	921.39	608.08	608.08	0.00	0.00	0.00	0.00
DR090-Bajo río Conchos	Luis L. León	84.99	60.34	60.34	0.00	0.00	0.00	0.00
DR103-río Florido	San Gabriel (80% de la demanda)	85.34	62.30	62.30	0.00	0.00	0.00	0.00
DR103-río Florido	Pico del Águila (80% de la demanda)	21.34	15.36	15.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Tratado	Luis L. León	215.85	153.25	153.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma		1538.07	1035.29	1035.29	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida del sistema				668.13				
Entrega total EU				821.39				

Los resultados encontrados muestran que al tratar de entregar anualmente un volumen bajo una política de asignación constante y sin déficit el volumen total entregado a todos los usuarios del agua superficial es de 1035.29 hm³, lo que representa una reducción del volumen entregado del 25.3% con respecto a la posibilidad de aceptar déficit en el sistema.

Gestión de embalses

Se basa en reservar una serie de recursos para minimizar los riesgos de desabastecimiento. Es necesario tratar con sumo cuidado este tipo de recursos a la hora de valorar la garantía de los sistemas y su capacidad de

suministro, ya que en ningún caso se les debe dar el tratamiento de permanentes. Estas consideraciones de asignación de funcionalidades distintas a recursos concretos se encuentran en lo que se ha dado en llamar Gestión Integrada de los recursos hídricos.

Las medidas de tipo coyuntural presentan un abanico mayor de posibilidades, aunque lo ideal es que todas ellas estén recogidas en un documento que sea el compendio y definición de los procedimientos a seguir para gestionar cada situación de contingencia de forma acorde con su importancia y severidad así pues se consideraron dentro de la modelación de la cuenca del río Conchos la aplicación de

diferentes políticas de asignación entre las que se pueden mencionar:

Políticas de asignación variables

Son políticas de asignación caracterizadas por una función que depende del almacenamiento registrado el 1° de octubre.

Las políticas de asignación variables se dividen en dos grupos: *escalonadas* y *en forma de z invertida*.

Las políticas de asignación variable tienen la finalidad de buscar la extracción máxima pero sin presentar déficit en el volumen autorizado.

Políticas escalonadas

Es una política variable que presenta una curva característica como la que se muestra en la figura 4.1 y se compone de los siguientes parámetros:

- Rangos del volumen de almacenamiento ($V1, V2, V3$), a partir del cual se incrementa el volumen de extracción y
- Rangos del volumen de extracción, $VE1, VE2, VE3$

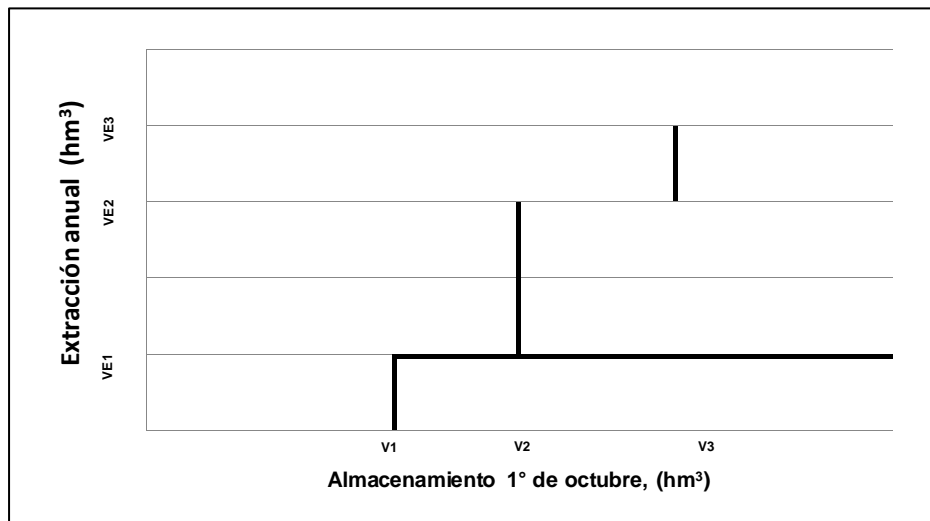


Figura 4.1. Curva característica de una política de asignación escalonada.

Con estos parámetros el volumen a extraer de la presa se calcula mediante la siguiente Expresión algebraica:

$$VE = VE1$$

$$\text{si } Alm \leq V2$$

$$VE = VE2$$

$$\text{si } V2 \geq Alm \leq V3$$

$$VE = VE3$$

si $Alm \geq V2$

Donde:

Alm es el volumen almacenado en la presa en el periodo de decisión (1° de octubre), y VE es el volumen de extracción autorizado.

Resultados de políticas escalonadas

En este grupo de alternativas se consideró que el volumen mínimo que se debe garantizar,

aun en situaciones de bajos escurrimientos, es del 50% del volumen concesionado, por lo que se buscaron los límites de almacenamiento de las políticas de asignación variable para cada una de las presas del sistema que maximicen el volumen de extracción sin presentar déficit, se realizaron diversas simulaciones hasta encontrar los mejores parámetros, los parámetros encontrados se presentan en la tabla 4.7

Tabla 4.7. Parámetros de las políticas de asignación variable, escalón, para cada presa.

Francisco I Madero		La Boquilla		San Gabriel		Pico del Águila		Luis L León	
Si alm oct > (hm³)	Vol aut (hm³)	Si alm oct > (hm³)	Vol aut (hm³)	Si alm oct > (hm³)	Vol aut	Si alm oct > (hm³)	Vol aut (hm³)	Si alm oct > (hm³)	Vol aut (hm³)
290	209.15	1800	921.34	110	85.34	35	21.34	200	300.84
240	135.95	1300	737.07	80	68.27	25	19.20	170	240.67
155	115.03	900	580.44	70	55.47	20	14.94	150	195.55
100	104.58	600	460.67	60	42.67	8	10.67	80	150.42
0	104.58	0	460.67	0	42.67	0	10.67	0	150.42

En la tabla 4.8 se presenta el volumen promedio anual entregado a cada uno de los distritos de riego que se abastecen de agua superficial, para un periodo de simulación de

1949 a 2011, considerando una política de asignación variable tipo escalón.

Tabla 4.8. Resultados de la simulación, políticas de asignación variable, tipo escalón, para cada presa, agua superficial.

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Volumen concesionado (hm³)	Volumen autorizado (hm³)	Volumen entregado (hm³)	Déficit prom (hm³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm³)	Déficit máx (%)
DR005 - Delicias	Fco. I. Madero (18.5% de la demanda)	209.15	173.05	173.05	0.00	0.00	0.00	0.00
DR005 - Delicias	La Boquilla	921.39	757.88	757.88	0.00	0.00	0.00	0.00

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
	(81.5 % de la demanda)							
DR090 - Bajo Río Conchos	Luis L. León	84.99	79.85	79.85	0.00	0.00	0.00	0.00
DR103 - Río Florido	San Gabriel (80% de la demanda)	85.34	79.70	79.70	0.00	0.00	0.00	0.00
DR103 - Río Florido	Pico del Águila (80% de la demanda)	21.34	19.48	19.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Tratado	Luis L. León	215.85	202.79	202.79	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma		1538.07	1312.75	1312.75	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida del sistema				483.79				
Entrega total EU				686.58				

Los resultados encontrados muestran que al tratar de entregar anualmente un volumen bajo una política de asignación variable tipo escalón y sin déficit el volumen total entregado a todos los usuarios del agua superficial es de 1312.75 hm³, lo que representa una reducción del volumen entregado del 5.3% con respecto a la posibilidad de utilizar una política constante aceptando déficit en el sistema y un incremento del 26.8% con respecto a los resultados obtenidos al utilizar una política constante con cero déficit.

Políticas en forma de z invertida (tipo GASIR)

Política (β); Volumen de almacenamiento (V_I), a partir del cual se incrementa el volumen mínimo de extracción en

Es una política variable que presenta una curva característica como la que se muestra en la figura 4.2 y se compone de los siguientes parámetros:

- Volumen mínimo de extracción (V_{DMIN}) u ordenada al origen, establecido como un porcentaje del volumen concesionado;
- Volumen máximo de extracción (V_{DMAX}), correspondiente al 100% del volumen concesionado;
- Incremento de extracción dado por la pendiente de la recta característica de la

función de β ; y $V/2$ el volumen a partir del cual se extrae la totalidad del volumen concesionado, siendo

$$V2 = V1 + (VDMAX - VDMIN) / \beta.$$

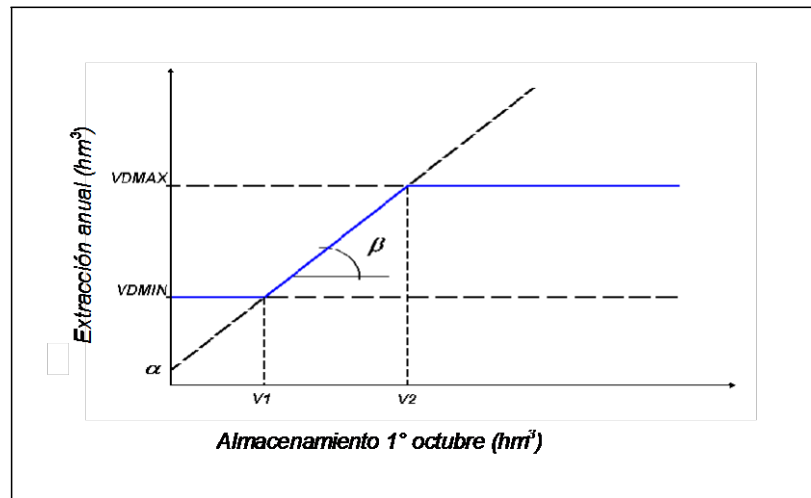


Figura 4.2. Curva característica de una política de asignación.

Con estos parámetros el volumen a extraer de la presa se calcula mediante la siguiente expresión algebraica:

$$\begin{aligned}
 VE &= VDMIN && \text{si } Alm \leq V1 \\
 VE &= VDMIN + \beta (ESCA - V1) && \text{si } V1 < Alm < V2 \\
 VE &= VDMAX && \text{si } Alm \geq V2
 \end{aligned}$$

donde:

Alm es el volumen almacenado en la presa en el periodo de decisión (1° de octubre), y *VE* es el volumen de extracción autorizado.

Resultados de políticas en forma de z invertida

En este grupo de alternativas se consideró que el volumen mínimo que se debe garantizar, aún en situaciones de bajos escurrimientos, es del 50% del volumen concesionado, por lo que se buscaron los parámetros de las políticas de asignación variable para cada una de las presas del sistema que maximicen el volumen de extracción sin presentar déficit, se realizaron diversas simulaciones hasta encontrar los mejores parámetros, los parámetros encontrados se presentan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Parámetros de las políticas de asignación variable, tipo GASIR, para cada presa.

Presa	VDMIN	VDMAX	V1	b	V2
Francisco I Madero	104.575	209.15	200	0.9	316.19
La Boquilla	460.67	921.34	750	0.45	1773.71

Presa	VDMIN	VDMAX	V1	b	V2
San Gabriel	42.67	85.34	55	0.9	102.41
Pico del Águila	10.67	21.34	9	0.38	37.08
Luis L León	150.42	300.84	85	0.7	299.89

En la tabla 4.10 se presenta el volumen promedio anual entregado a cada uno de los distritos de riego que se abastecen de agua superficial, para un periodo de simulación de 1949 a 2011, considerando una política de asignación variable tipo GASIR.

Los resultados presentados en la tabla 5.10 muestran que el volumen promedio total que se entregará al sistema de agua superficial es de 1324.66 hm³, lo que representa un incremento del volumen entregado del 28% con respecto al volumen que se podría entregar bajo una política constante con cero déficit.

Tabla 4.10. Resultados de la simulación, políticas de asignación variable, tipo GASIR, para cada presa, agua superficial.

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Volumen concesionado (hm ³)	Volumen autorizado (hm ³)	Volumen entregado (hm ³)	Déficit prom (hm ³)	Déficit prom (%)	Déficit máx (hm ³)	Déficit máx (%)
DR005 - Delicias	Fco. I. Madero (18.5% de la demanda)	209.15	175.32	175.32	0.00	0.00	0.00	0.00
DR005 - Delicias	La Boquilla (81.5 % de la demanda)	921.39	768.76	768.76	0.00	0.00	0.00	0.00
DR090-Bajo río Conchos	Luis L. León	84.99	79.27	79.27	0.00	0.00	0.00	0.00
DR103-río Florido	San Gabriel (80% de la demanda)	85.34	80.39	80.39	0.00	0.00	0.00	0.00
DR103-río Florido	Pico del Águila (80% de la demanda)	21.34	19.59	19.59	0.00	0.00	0.00	0.00
Tratado	Luis L. León	215.85	201.33	201.33	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma		1538.07	1324.66	1324.66	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida del sistema				479.76				
Entrega total EU				681.09				

De igual manera haciendo uso del pronóstico a mediano plazo de los escurrimientos en la cuenca del río Conchos se llevó a cabo la simulación de los mismos para el periodo del 1 de octubre de 2012 a 29 de abril de 2013.,

para realizar esta simulación se fijaron los almacenamientos de las presas Fco. I Madero, la Boquilla, Luis L. Leon, San Gabriel y Pico del Águila de los registros del 1 de octubre de 2012 y se utilizó el pronóstico de

escurrimiento del 1° de octubre de 2012 al 29 de abril de 2013, bajo estas condiciones se simuló el comportamiento de las presas para las políticas tipo escalón y la tipo GASIR. Los resultados encontrados al aplicar la política tipo escalón se presentan en la tabla 4.11 y los

de la política tipo GASIR en la tabla 4.12 los resultados mostrados son únicamente para el caso del agua superficial ya que las demandas subterráneas no se ven afectadas y por lo tanto no presentan modificación.

Tabla 4.11. Resultados de la simulación política tipo escalón, para cada presa, agua superficial, 1 de octubre de 2012 a 29 de abril de 2013.

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Almacenamiento inicial (hm ³) 1°-oct-2012	Almacenamiento final (hm ³) 29-abril-2013	Volumen autorizado (hm ³)	% de Vol aut/ Vol máx
DR005-Delicias	Fco. I. Madero (18.5% de la demanda)	118.169	77.90	104.58	50
DR005-Delicias	La Boquilla (81.5 % de la demanda)	961.578	599.32	580.44	63
DR090-bajo río Conchos	Luis L. León	303.69	219.83	84.99	100
DR103-río Florido	San Gabriel (80% de la demanda)	71.115	51.85	55.47	65
DR103-río Florido	Pico del Águila (80% de la demanda)	20.00	18.94	10.67	50
Tratado	Luis L. León			215.85	100
Suma				1052.00	
Salida del sistema al 29 de abril de 2013				121.54	
Entrega total EU				337.39	

Tabla 4.12. Resultados de la simulación política tipo GASIR, para cada presa, agua superficial, 1 de octubre de 2012 al 29 de abril de 2013.

Distrito de riego	Fuente de abastecimiento	Almacenamiento inicial (hm ³) 1°-oct-2012	Almacenamiento final (hm ³) 29-abril-2013	Volumen autorizado (hm ³)	% de Vol aut/ Vol máx
DR005-Delicias	Fco. I. Madero (18.5% de la demanda)	118.169	77.90	104.58	50
DR005-Delicias	La Boquilla (81.5 % de la demanda)	961.578	613.81	555.88	60
DR090-Bajo río Conchos	Luis L. León	303.69	217.75	84.99	100
DR103-río Florido	San Gabriel (80% de la demanda)	71.115	51.29	57.17	67
DR103-río Florido	Pico del Águila (80% de la demanda)	20.00	17.73	14.85	70
Tratado	Luis L. León			215.85	100
Suma				1033.32	
Salida del sistema al 29 de abril de 2013				121.54	
Entrega total EU				337.39	

Con los volúmenes autorizados con las políticas tipo escalón y tipo GASIR ninguno de los distritos presentará déficit hasta el 29 de abril, de acuerdo a los escurrimientos pronosticados y dado que para esta fecha el DR005 en sus dos secciones ya utilizó el 48%, el DR103 utilizó el 32% y el DR090 el 55% del volumen autorizado se considera que con el volumen que se encuentra almacenado al 29

de abril todos los usuarios podrán terminar su ciclo sin problemas.

Es importante notar que independientemente que al aplicar esta política no se presentará déficit, el volumen autorizado no es muy grande ya que con la política tipo escalón en el caso del DR005, abastecido de la presa Francisco I Madero, el volumen autorizado es del 50% de su volumen concesionado, seguido

del DR005 abastecido de la presa Boquilla con una autorización del 62% de su concesión. Al DR090 se le autoriza el 100% de su concesión.

En el caso de los resultados de la política tipo GASIR el volumen autorizado es prácticamente igual que con la política tipo escalón presentado la mayor variación en el caso del DR103 abastecido de la presa Pico del Águila que presenta una diferencia del 20% con respecto a la política tipo escalón el resto de los usuarios presentan prácticamente el mismo volumen autorizado.

El volumen que se considera de salida del sistema incluye el escurrimiento de la cuenca del bajo Conchos, información que en los escenarios anteriores no se contaba ya que los escurrimientos históricos únicamente se

contaban a la entrada de la presa Luis L León.

Los resultados encontrados con ambas políticas son congruentes con la realidad, ya que debido a lo bajo de los almacenamientos al inicio del ciclo, es imposible autorizar volúmenes mayores sin tener riesgo de presentar déficit a lo largo del ciclo.

De la tabla 4.13 podemos observar que los escurrimientos del pronóstico para los meses de octubre-noviembre pudieran considerarse aceptables ya que al comparar con los registros del almacenamiento de las presas registrados el 10 de diciembre de 2012 con el del modelo la diferencia mayor se presenta en la presa Luis L León con una diferencia del 16%, seguido de la Boquilla con una diferencia de 8.3% la diferencia de las otras presas es mínima.

Tabla 4.13. Comparativo de almacenamiento.

Fuente de abastecimiento	Almacenamiento inicial (hm ³) 1°-oct-2012 registro	Almacenamiento (hm ³) 1°-dic-2012 (modelo)	Volumen entregado (hm ³) del 1°-oct al 1°-dic-2012 (modelo)	Almacenamiento 10-dic-2012 (hm ³) registro
Fco. I. Madero	118.169	117.6	9.28	120.22
La Boquilla	961.578	909.61	51.5	993.26
Luis L. León	303.69	287.36	43.3	343.79
San Gabriel	71.115	68.4	3	80.07
Pico del Águila	20.00	19.7	0.58	22.00

5. REFERENCIAS

- Behringer, D. W., et al., 2005, *The Global Ocean Data Assimilation System (GODAS) at NCEP* (2005): to be submitted for publication sometido para su publicación.
- Burke, E.J., Perry, R.H.J., and Brown, S.J. (2010): *An extreme value analysis of UK drought and projections of change in the future*. J. Hydrol., 388, 131-143.
- Glahn, H. R. y D.A. Lowry (2002): *The use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting*. Journal of Applied Meteorology, Vol 11. Pp 1203-1211.
- Gumbel, E.J. (1958): *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York.
- Hurst, H.E. (1951): *Long term storage capacity of reservoirs*. Trans. ASCE 116, 770-808.
- INEGI (2010): <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio>, (consultado en noviembre 2012).
- Ishizaki, H., (1971): *Wind damage and wind load problems in Japan, Proceedings of USA-Japan Seminar, Wind Loads on Structures*, Hawaii.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K. Yang, J. J. Slingo, M. Fiorino and G. L.Potter, (2002A): *NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)*, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643.
- Large, W. G., J. C. McWilliams, y S. C. Doney (1994): *Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization*. *Rev. Geophys.*, **32**: 363-403.
- Mateos-Farfán, E. y Pérez-Cortes, O. (2012): *Corrección estadística al pronóstico de temperatura del modelo wrf a 3 días*. Informe técnico del proyecto TH1201.1, presentado ante el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Méndez- Pérez, J. M. (2010): *Variabilidad espacio temporal de la sequía meteorológica en México: aspectos dinámicos*, Tesis de doctorado en ciencias (física de la atmósfera), Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Mitchel, T.D. y P.D. Jones (2005) *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution Grids*. Journal of climate. Vol. 25, pp. 693-712
- Reynolds, R.W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang, 2002: *An improved in situ and satellite SST analysis for climate*. *J. Climate*, **15**, 1609-1625.
- Russell, L.R., (1971): *Probability distributions for hurricane effects*. J. Water, Harbors, Coastal Eng. Div. 97, 139-154.

- Suranjana S., Shrinivas M., Xingren W., Jiande W., Sudhir N., Patrick T., Hua-Lu P., David B., Yu-Tai H., Hui-ya Ch., Mark I., Michael E., Jesse M., Rongqian Y. (2011) : *The NCEP Climate Forecast System Version 2*. To be submitted to the Journal of Climate