

2.2.1. Evolución del agua utilizada en los distritos de riego, y su efecto en las superficies regadas

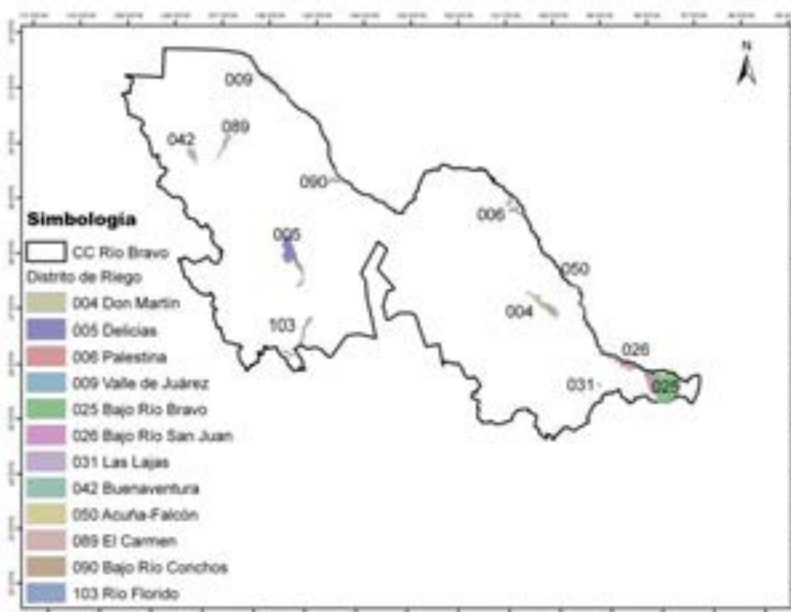
En los 12 distritos que se encuentran dentro del CC Río Bravo, se tiene en conjunto una superficie regada promedio de 341,128 ha en los últimos años (1989-2011). Los distritos donde existe una mayor superficie y volumen de riego son: 005 Cd. Delicias en Chihuahua, 025 Bajo Bravo y 026 Bajo Río San Juan en Tamaulipas (Tabla 2.6 y Figura 2.5), los cuales han significado poco más del 87% del total (CONAGUA, 2009).

Tabla 2.6 Superficie regada y volumen bruto para riego 1989-2011 de los Distritos de Riego dentro del Consejo de Cuenca Río Bravo.

Número y nombre de Distrito	Superficie Física (ha) dominada por obras	Superficie Regable (ha) con derecho a riego	Superficie Regada (ha) promedio en los últimos años	Porcentaje	Porcentaje acumulado
025 Bajo Río Bravo, Tamps.	245,862	201,136	196,456	57.59	57.59
026 Bajo Río San Juan, Tamps.	78,580	75,939	69,011	20.23	77.82
005 Delicias, Chih.	79,219	73,002	31,864	9.34	87.16
004 Don Martín Coah. y N.L.	32,733	23,203	11,471	3.36	90.52
009 Valle de Juárez, Chih.	24,576	20,863	9,809	2.88	93.4
006 Palestina, Coah.	13,430	12,926	4,457	1.31	94.71
042 Buenaventura, Chih.	8,146	7,717	4,382	1.28	95.99
103 Río Florido, Chih.	8,532	8,229	4,330	1.27	97.26
090 Bajo Río Conchos, Chih.	8,316	8,109	3,149	0.92	98.18
050 Acuña - Falcón, Tamps.	26,555	14,036	2,241	0.66	98.84
089 El Carmen, Chih.	20,861	13,118	2,182	0.64	99.48
031 Las Lajas, N. L.	4,234	4,037	1,776	0.52	100
TOTALES	551,043	462,315	341,128		

Fuente: CONAGUA, 2009. 2012.

Figura 2.5 Ubicación de los distritos de riego dentro del CC Río Bravo



Fuente: CONAGUA. Programa Nacional Hídrico 2007-2010, Febrero 2008.

La superficie regada y el volumen bruto está compuesta por siete subciclos: Año Agrícola Anterior PV, Año Agrícola Anterior SC, Otoño-Invierno, Perennes, Primavera-Verano, Segundos Cultivos y Otros Usos. En la Tabla 2.7 se muestran los ciclos por distrito, así como el promedio de la superficie regada y el volumen bruto.

Tabla 2.7 Promedio de la superficie regada y volumen bruto para riego 1989-2011 por ciclo de los Distritos de Riego dentro del Consejo de Cuenca Río Bravo.

Clave	Distrito	Ciclo	Promedio de la superficie regada (ha)	Años con datos de la superficie regada	Promedio del volumen bruto (hm ³)	Años con datos del volumen bruto
004	Don Martín	Año Agrícola Anterior P-V	17	1	0	1
		Año Agrícola Anterior SC	0	0	0	0
		Otoño-Invierno	5,914	15	95	15
		Primavera-Verano	9,336	12	137	11
		Perennes	1,446	16	18	16
		Segundos Cultivos	0	0	0	0
		Otros Usos	0	0	21	23
Subtotal			2,388	6	39	9
005	Cd. Delicias	Año Agrícola Anterior P-V	1,141	3	3	3
		Año Agrícola Anterior SC	7,609	9	24	9
		Otoño-Invierno	11,672	17	196	17
		Primavera-Verano	19,616	23	301	23
		Perennes	17,344	23	356	23
		Segundos Cultivos	14,547	10	131	10
		Otros Usos	0	0	104	21
Subtotal			10,275	12	159	15
006	Palestina	Año Agrícola Anterior P-V	188	5	1	5
		Año Agrícola Anterior SC	0	0	0	0
		Otoño-Invierno	1,342	23	13	23
		Primavera-Verano	2,954	23	28	23
		Perennes	620	23	7	23
		Segundos Cultivos	0	0	0	0
		Otros Usos	0	0	19	23
Subtotal			729	11	10	14
009	Cd. Juárez	Año Agrícola Anterior P-V	330	3	1	3
		Año Agrícola Anterior SC	497	7	1	7
		Otoño-Invierno	2,603	23	30	23
		Primavera-Verano	6,291	23	70	23
		Perennes	3,064	23	50	23
		Segundos Cultivos	1,536	23	13	23
		Otros Usos	1,280	9	24	15
Subtotal			2,229	16	27	17
025	Bajo Rio Bravo	Año Agrícola Anterior P-V	0	0	0	0
		Año Agrícola Anterior SC	5,774	5	25	5
		Otoño-Invierno	31,514	21	158	21
		Primavera-Verano	116,923	22	495	22
		Perennes	831	21	3	21
		Segundos Cultivos	12,524	6	34	6
		Otros Usos	13	3	422	22
Subtotal			23,940	11	162	14
026	Bajo Rio San	Año Agrícola Anterior P-V	0	0	0	0

Clave	Distrito	Ciclo	Promedio de la superficie regada (ha)	Años con datos de la superficie regada	Promedio del volumen bruto (hm ³)	Años con datos del volumen bruto
	Juan	Año Agrícola Anterior SC	5,270	4	19	4
		Otoño-Invierno	515	13	3	13
		Primavera-Verano	59,902	23	352	23
		Perennes	929	23	4	23
		Segundos Cultivos	5,112	5	21	5
		Otros Usos	0	0	40	21
Subtotal			10,247	10	63	13
031	Las Lajas	Año Agrícola Anterior P-V	0	0	0	0
		Año Agrícola Anterior SC	402	4	1	4
		Otoño-Invierno	629	11	4	11
		Primavera-Verano	1,476	19	12	19
		Perennes	338	20	2	20
		Segundos Cultivos	680	5	4	5
		Otros Usos	0	0	1	1
Subtotal			504	8	4	9
042	Buenaventura	Año Agrícola Anterior P-V	609	16	2	16
		Año Agrícola Anterior SC	1,338	3	6	3
		Otoño-Invierno	485	22	9	23
		Primavera-Verano	3,016	23	50	23
		Perennes	918	23	21	23
		Segundos Cultivos	494	8	4	8
		Otros Usos	0	0	14	23
Subtotal			980	14	15	17
050	Acuña Falcón	Año Agrícola Anterior P-V	40	1	0	1
		Año Agrícola Anterior SC	143	2	0	2
		Otoño-Invierno	429	19	2	19
		Primavera-Verano	659	16	2	16
		Perennes	896	21	4	21
		Segundos Cultivos	206	4	1	4
		Otros Usos	0	0	45	16
Subtotal			339	9	8	11
089	El Carmen	Año Agrícola Anterior P-V	2,076	8	5	8
		Año Agrícola Anterior SC	604	3	1	3
		Otoño-Invierno	718	22	10	22
		Primavera-Verano	5,356	23	61	23
		Perennes	2,546	23	41	23
		Segundos Cultivos	0	0	0	0
		Otros Usos	0	0	8	1
Subtotal			1,614	11	18	11
090	Bajo Rio Conchos	Año Agrícola Anterior P-V	376	4	2	4
		Año Agrícola Anterior SC	341	5	1	5
		Otoño-Invierno	1,119	22	52	7
		Primavera-Verano	1,297	23	10	15
		Perennes	1,352	23	32	23
		Segundos Cultivos	280	19	3	19
		Otros Usos	0	0	68	21
Subtotal			681	14	24	13
103	Rio Florido	Año Agrícola Anterior P-V	1,039	9	8	9
		Año Agrícola Anterior SC	965	4	5	4

Clave	Distrito	Ciclo	Promedio de la superficie regada (ha)	Años con datos de la superficie regada	Promedio del volumen bruto (hm ³)	Años con datos del volumen bruto
		Otoño-Invierno	923	18	18	18
		Primavera-Verano	2,225	23	28	23
		Perennes	1,807	23	39	23
		Segundos Cultivos	1,303	6	11	6
		Otros Usos	0	0	0	0
Subtotal			1,180	12	16	12
Promedio total			4,592	11	45	13

*Los datos cero se refieren a distritos que en ciertos años no se contó con información, o bien no hubo la suficiente agua para asignarla a otros usos.

Fuente: CONAGUA, 2009.

En la Tabla 2.8 se puede observar la evolución de la superficie regada en el periodo 1989-2011. Se muestra que en el año 93 en el DR 025 Bajo Río Bravo se regó la mayor superficie con 250,784 ha y la menor con 1,181 ha en el año 2002 para el distrito 103 Río Florido.

Tabla 2.8 Evolución de la superficie regada (ha) periodo 1989-2011 de los distritos de riego dentro del CC Río Bravo.

Clave	Distrito	MAXIMO	Periodo de valor máximo	MIN	Periodo del valor mínimo
004	Don Martín, N.L.	27,915	1989	0.00	96-97, 99,01-03
005	Cd. Delicias, Chih.	117,792	1989	18,348	1995
006	Palestina, Coah.	11,111	1990	2,239	2004
009	Cd. Juárez, Chih.	22,984	1989	6,845	1998
025	Bajo Río Bravo, Tamps.	250,784	1993	0	2002
026	Bajo Río San Juan, Tamps.	88,225	1989	31,221	2000
031	Las Lajas, N.L.	5,077	1989	0	1999-2001
042	Buenaventura, Chih.	10,180	1990	2,351	2005
050	Acuña Falcón, Tamps.	3,284	1994	0	2001-2002
089	El Carmen, Chih.	15,107	1992	1,348	1999
090	Bajo Río Conchos, Chih.	7,642	1990	2,292	2002
103	Río Florido, Chih.	12,130	1994	1,181	2002

*Los Distritos con datos 0 se refiere a distritos que en ciertos años no se contó con información tal es el caso de Don Martín, Las Lajas y Acuña Falcón, o no hubo suficiente agua para su asignación.

Fuente: CONAGUA, 2009.

En la Tabla 2.9 se puede observar la evolución del volumen bruto para riego en el periodo 1989-2011. Se muestra que en el año 1993 en el DR 025 Bajo Río Bravo se utilizó el mayor volumen con 1,900 hm³, en año 2004 se utilizó el menor volumen de 3 hm³ en el DR 050 Acuña Falcón.

Tabla 2.9 Evolución del volumen bruto para riego (hm³) periodo 1989-2011 de los distritos dentro del CC Río Bravo.

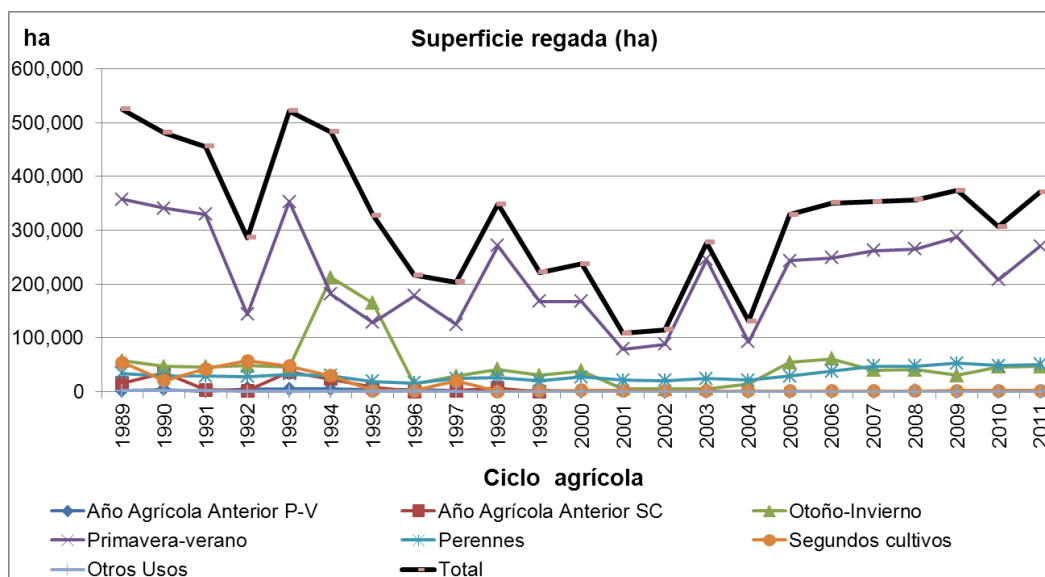
Clave	Distrito	MAXIMO	Periodo de valor máximo	MIN	Periodo del valor mínimo
004	Don Martín, N.L.	460	1989	13	2003
005	Cd. Delicias, Chih.	1,868	1993	221	1995
006	Palestina, Coah.	153	1993	11	2004
009	Cd. Juárez, Chih.	269	1994	106	2006
025	Bajo Río Bravo, Tamps.	1,900	1993	149	2001
026	Bajo Río San Juan, Tamps.	844	1989	90	2000
031	Las Lajas, N.L.	33	1990	0	1999-2001
042	Buenaventura, Chih.	276	1991	51	1999
050	Acuña Falcón, Tamps.	71	2005	3	2004
089	El Carmen, Chih.	169	1997	18	1999
090	Bajo Río Conchos, Chih.	876	1989	42	1996
103	Río Florido, Chih.	203	1994	25	2002

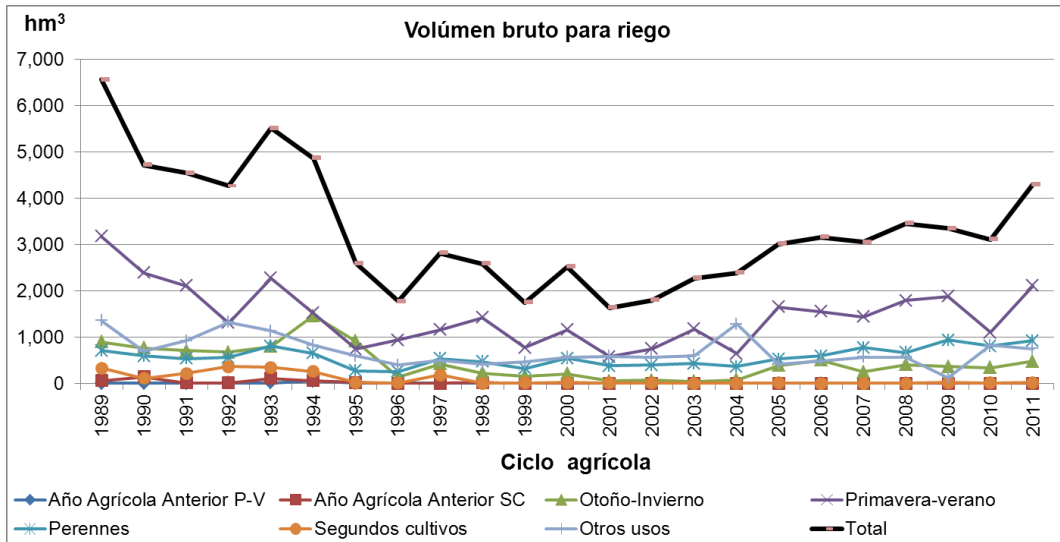
*Los Distritos con datos de 0 se refiere a distritos que en ciertos años no se contó con información tal es el caso del 050 Las Lajas.

Fuente: CONAGUA, 2009.

En la Figura 2.6 se presentan las gráficas de la evolución de los ciclos y total de la superficie regada (ha) y volúmenes brutos para riego hm³ de los 12 distritos de riego.

Figura 2.6 Graficas de la evolución de los ciclos de la superficie regada y volúmenes brutos





Fuente: CONAGUA, 2009.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, en los distritos que se localizan en la CC Río Bravo, se tiene una tendencia a la variación en la superficie regable y el volumen utilizado; en el año agrícola 89-90, cuando se utilizó un volumen bruto 6,564 hm³, y de 1,639 hm³, en el año 2001, una drástica variación, por efecto de la sequía. En términos de la superficie regada, esta variación se dio de 524,997 a 108,750 hectáreas, en los mismos años.

En general, los DR de la región fueron diseñados y construidos para regar toda su superficie con derecho al riego una vez por año agrícola, aunque usualmente, por diversas causas, aunque haya agua suficiente, no se riega toda la superficie; es entonces cuando entran en juego los segundos cultivos, y este subciclo es un buen indicador de la abundancia hídrica, por lo que cuando existe este rubro, se deduce que no hubo déficit.

Similarmente ocurre también que en estos DR, por sus características climáticas, la mayor proporción de superficie cultivada es en el subciclo primavera-verano (PV), ya que el otoño-invierno (OI) puede ser muy frío y afectar el desarrollo y productividad de los diversos cultivos. Esto se aprecia en la tabla anterior donde se detallan las superficies por subciclo y por DR. También, por diversas causas como valor y productividad de los cultivos, cercanía a los mercados, etc., en algunos DR destacan los cultivos perennes, principalmente la alfalfa para la industria lechera y el nogal para exportación.

De acuerdo con las figuras previas, en los años inmediatamente posteriores al déficit de lluvia y escurrimiento, los volúmenes disponibles en los almacenamientos son menores, y por tanto esto repercute en las superficies sembradas; así, para los tres DR de mayor superficie en el CC se tiene que (Figura 2.7 y Figura 2.8).

Figura 2.7 Superficies regadas, total y por subciclo, en el DR 025 (hectáreas)

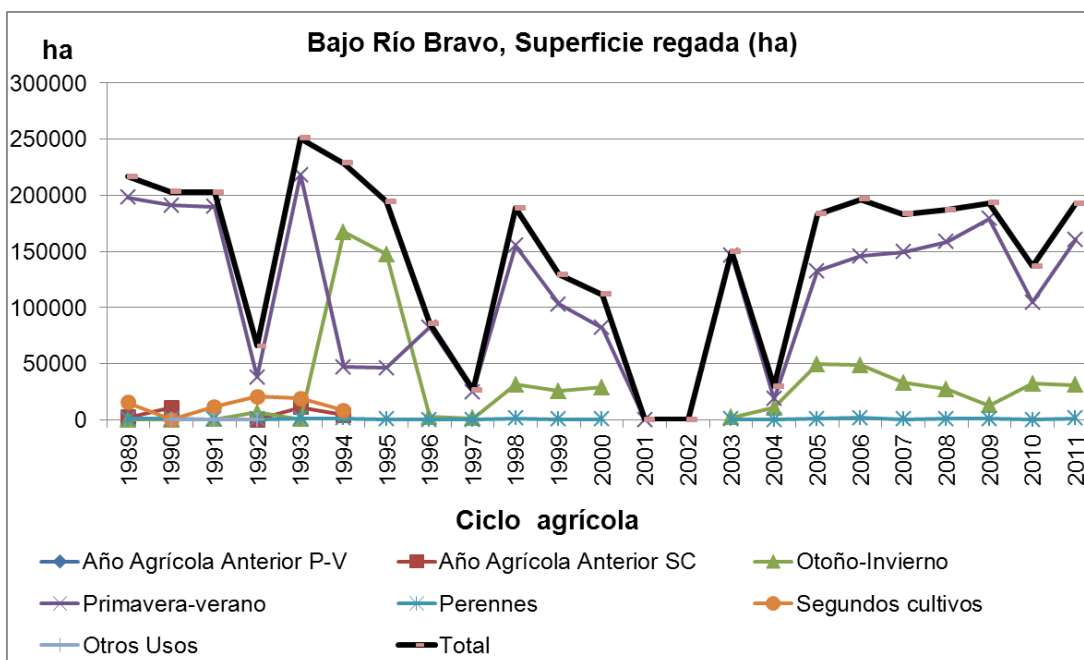
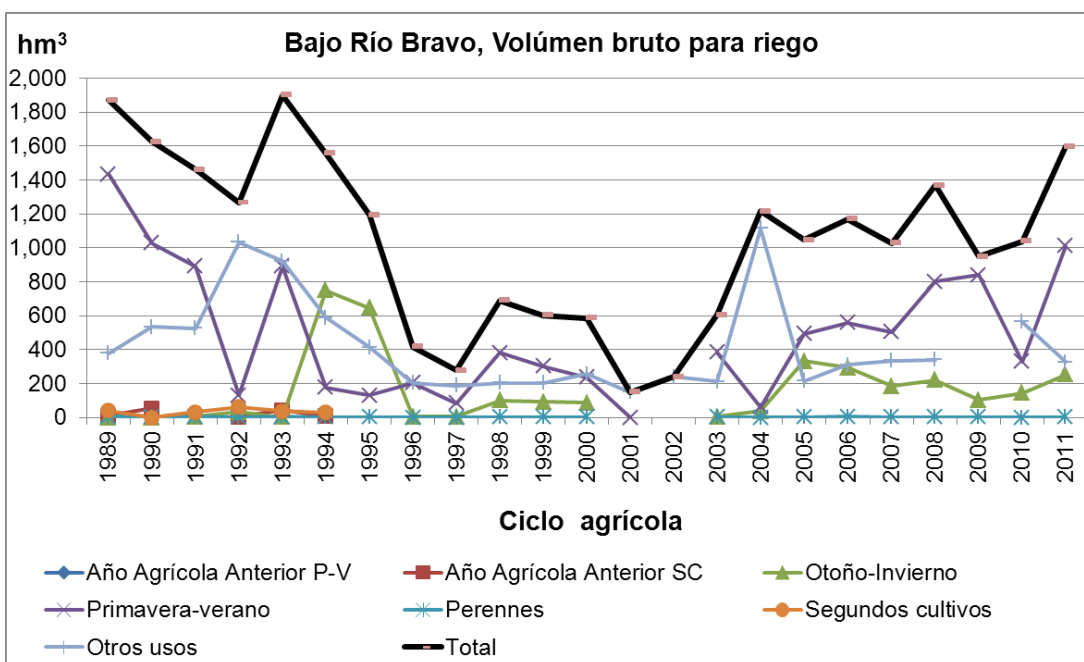


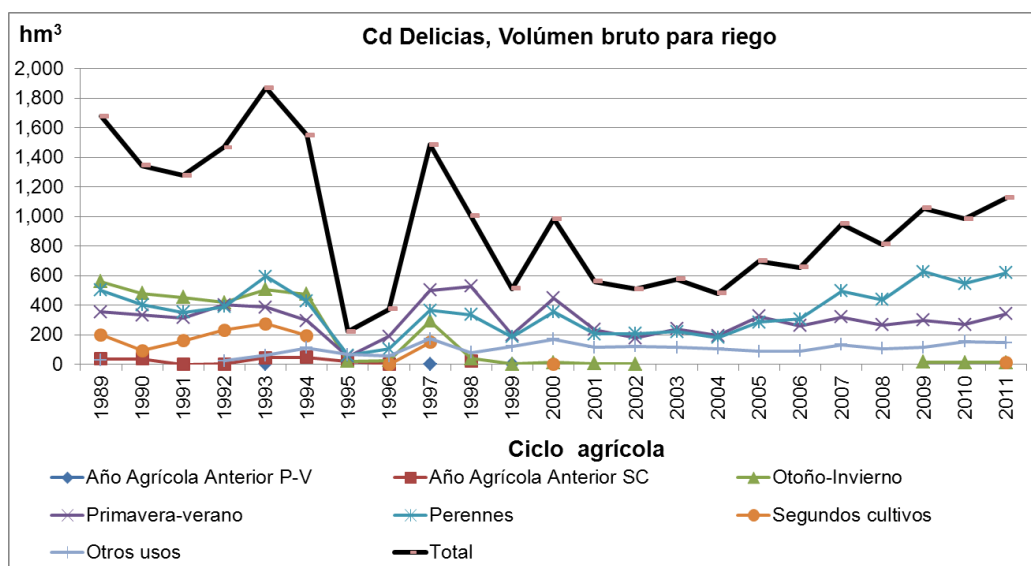
Figura 2.8 Volumen bruto para riego agrícola utilizado en el DR 025 (miles de m³)



Como se puede apreciar, hay acusadas variaciones anuales entre los volúmenes brutos disponibles y aplicados, y las superficies regadas. Aunque esto puede deberse a diversas causas, en general obedece a que los periodos deficitarios de agua son por sequía.

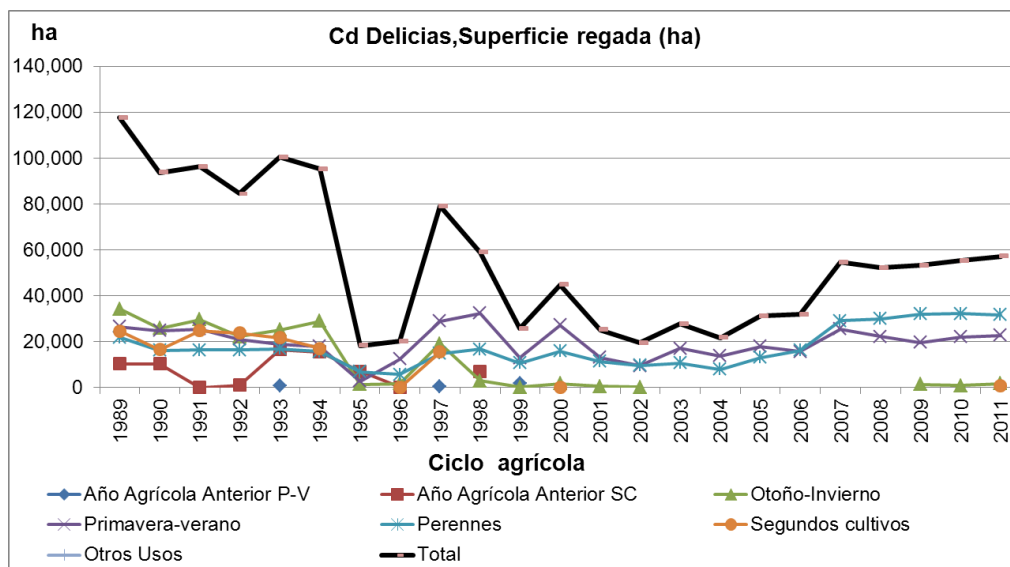
El DR de Delicias, en la cuenca del río Conchos, es probablemente el que resulta más ilustrativo de las condiciones hídricas deficitarias. A pesar de que tiene una superficie con derecho a riego de casi 73,000 ha, la superficie que se ha regado en los últimos años es significativamente menor. Básicamente, esta situación se debe a los intensos y recurrentes periodos de sequía que se han presentado en la cuenca, y que han repercutido desfavorablemente en los almacenamientos de las presas La Boquilla y Francisco I. Madero, las fuentes de agua superficial de donde se suministra el riego (Figura 2.9).

Figura 2.9 Volumen bruto anual extraído de los embalses para riego en el DR 005, hm³.



También, en este caso, la disponibilidad de volumen condiciona la superficie a sembrar y regar, lo que se muestra en la Figura 2.10

Figura 2.10 Superficies sembradas y regadas por año agrícola en el DR 005; hectáreas.

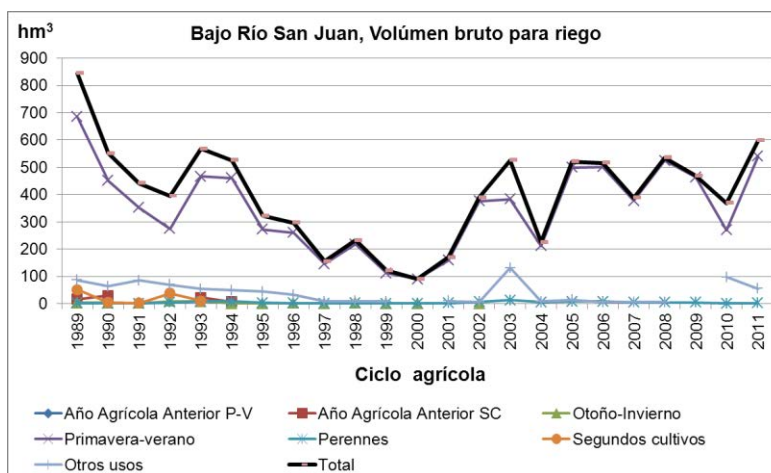


Se aprecia, igualmente, que ha habido sensibles variaciones, tanto en volumen como en superficies, y puede afirmarse que en gran medida, esta variación es debida a la sequía. Destaca,

en especial, el año 1995-96, en que se tuvieron las superficies más bajas de la historia reciente, apenas poco más de 18,000 ha. Esto contrasta con que dos años anteriores se tuvieron los escurrimientos y aportaciones más altas, y luego se presentó un prolongado periodo de sequía que duró varios años, del que incluso algunas áreas no han tenido una completa recuperación.

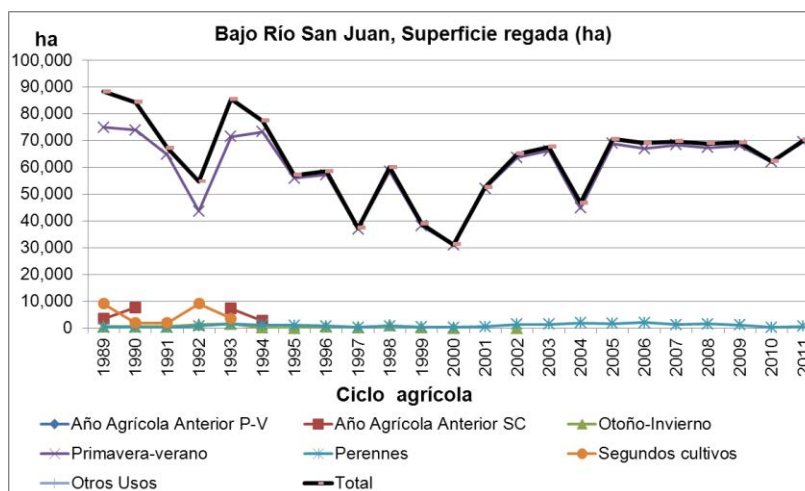
En el caso del DR 026, Bajo Río San Juan, en Tamaulipas, las condiciones de volumen y superficie que se han presentado en los últimos años se presentan en la Figura 2.11 y Figura 2.12.

Figura 2.11 Volumen bruto utilizado en riego por año agrícola en el DR 026, Bajo Río San Juan, Tams, en hm³.



También aquí destaca que ha habido periodos muy deficitarios de agua, lo que ha tenido como consecuencia que los volúmenes brutos disponibles no hayan sido suficientes para satisfacer las demandas agrícolas, y ello básicamente por la ocurrencia de la sequía.

Figura 2.12 Superficies sembradas y regadas año agrícola en el DR 026, Bajo Río San Juan, Tams, en ha.



En el DR 026 destaca que el subciclo más importante es el de PV, mientras que los demás, excepto cuando ocasionalmente hay suficiente agua, se siembran algunas superficies de segundos cultivos; los perennes son de una muy baja superficie.

El tratamiento que aquí se ha dado, en particular al sector agrícola de riego, se debe a que este sector es el más demandante de agua, y a que cuando se presenta la sequía es uno de los que resultan con mayor impacto, como se aprecia en la gran variación de las superficies beneficiadas. Cuando el agua es insuficiente para regar la superficie con derecho, los polos de desarrollo económico que son los DR, sufren impactos negativos considerables, pues las actividades económicas relacionadas con la agricultura también tienen severas consecuencias: mano de obra, transporte, maquinaria, fertilizantes, créditos, insumos, etc.; es decir, el panorama negativo económico y social se recrudece, con efectos tales como desempleo, marginación, aumento de la pobreza, migración, pérdida de poder adquisitivo y de nivel de vida, etc., etc.

Desde luego, no es el único sector afectado, pues tanto la ganadería como la industria y el doméstico-urbano también sufren las severas consecuencias de la insuficiencia, y por supuesto, el sector ambiental (sin voz ni voto actualmente) también es probable que sea el más afectado.

Todos estos últimos sectores usuarios (a excepción del ganadero, que está fuertemente ligado al agrícola y que por ende, también tiene severas pérdidas), usan menos del 20% del volumen demandado; por ello, relativamente están menos estresados, y además tienen la enorme ventaja de poder abastecerse de agua del subsuelo. De hecho, mucha de la industria y la mayoría de las ciudades y pueblos tienen como fuente principal de abasto el agua subterránea, para uso doméstico, por lo cual puede decirse que tienen un tanto más de certidumbre en el suministro; además, al mismo tiempo que los volúmenes requeridos son menores, la eficiencia de uso es mayor.

No obstante, los acuíferos también se ven afectados y bajan su nivel, por efecto del agua que dejan de recibir vía recarga. Aunque la respuesta es más lenta, dado que el agua en el subsuelo se mueve más lentamente, la recuperación también es lenta, y dependiendo de la rapidez y el volumen de extracción, es posible que esa recuperación no se dé o sea mínima. De hecho, muchos acuíferos de la región han tenido severos abatimientos, precisamente por el desbalance entre extracción y recarga, y todavía más, entre más profundos son los niveles de extracción, además del mayor costo, existe el riesgo real de contaminación del agua, por los elementos propios del subsuelo, es decir, de las aguas fósiles, al grado de resultar nocivas en su uso.

Esta es una diferencia que puede resultar decisiva: las aguas superficiales son más variables en el tiempo y en cantidad, y puede haber extremos (inundaciones y sequías), en tiempos relativamente cortos, incluso de un año a otro; en cambio, las aguas subterráneas tienen una respuesta mucho más lenta, pero el gran riesgo que tienen es que, una vez que el acuífero se abate y/o las aguas se contaminan, las perspectivas de recuperación son muy bajas, e incluso con frecuencia son irreversibles.

Por estas razones de la variabilidad (Tamayo, 2009), muchas áreas de riego (así como ciudades e industrias) actualmente se riegan o complementan su riego con aguas subterráneas, con el detrimento de los acuíferos, muchos de los cuales están actualmente sobre explotados.

Las ciudades e industrias que se ubican al final de la cuenca (en la célula Tamaulipas Norte), son abastecidas en su mayor parte con agua superficial, del río Bravo o sus afluentes, por lo que cuando se presentan eventos de sequía hidrológica, también están expuestas a padecer sus efectos. Entre otras razones, no se abastecen de agua del subsuelo por la mala calidad de la misma.

De todo lo aquí presentado, se puede concluir que la región del CC Río Bravo, por sus características naturales, sociales, demográficas, económicas y políticas, sufre constantemente los embates del déficit temporal de agua, por la recurrencia de las sequías; la insuficiencia de lluvia y de escurrimiento le dan características de aridez y semi aridez, ya con un déficit permanente.

Con todo y esta condición restrictiva natural, está desarrollada de tal forma que la demanda de agua supera significativamente la oferta natural sustentable; por ello, la vulnerabilidad y exposición a los impactos negativos del fenómeno. Por ende, el PMPMS debe contemplar, tanto los volúmenes ya deficitarios en forma permanente, como el déficit adicional que se presenta cuando la oferta es aún más baja, por razones naturales. Ciertamente, el estrés hídrico regional es casi permanente, y se agudiza severamente cuando hay sequía, afectando en gran medida a todos los sectores de uso, pero sobre todo a los más demandantes, como es el agropecuario, el que, por su vulnerabilidad, sufre grandes pérdidas, que pueden tardar años en recuperarse, y a un alto costo económico y social.

2.3. Evaluación de la oferta de agua

2.3.1. Comportamiento de la lluvia

En el CC Río Bravo se localizan 518 estaciones climatológicas de las que se seleccionaron 81, considerado como base los criterios siguientes: su ubicación geográfica (que estén distribuidas a lo largo y ancho de la cuenca), la consistencia de los datos (que no tuvieran carencias considerables de datos por falta de registro en meses y/o años) y que tuvieran un período de registro de al menos 30 años.

En la Tabla 2.10, se puede observar que la variabilidad de la lluvia mensual de una estación meteorológica a otra es muy grande, puesto que se tienen estaciones donde la precipitación media anual es superior a los 1,000 mm (La Boca), y otras donde la lluvia media apenas alcanza los 214 mm anuales (Cuatro Ciénegas). En general, el coeficiente de variación (C.V.) de la lluvia registrada en la mayoría de las estaciones es alrededor del 50%, aunque en la estación Dr. Arroyo, tiene un coeficiente de variación superior al 78%.

Tabla 2.10 Estadísticas de estaciones climatológicas

Clave	Nombre	Media	Mediana	Máxima	Mínima	Desviación	C.V.
8052	El Mulato	256.64	216.95	692.50	65.50	155.82	60.72
SGBDR	San Gabriel	441.29	439.30	735.04	81.46	248.97	56.42
	Las Burras	273.97	290.20	508.50	0.00	170.90	62.38
LBQCH	Boquilla	306.35	305.90	597.00	90.56	141.58	46.22
CLNCH	Colina	342.39	350.03	611.80	0.00	202.41	59.12
FIMCH	Francisco I. Madero	299.10	283.70	637.40	79.20	117.45	39.27
TMCCCH	Temosachi	478.80	466.20	816.00	259.70	207.19	43.27
AGZCH	A. González	474.70	485.30	717.47	263.84	237.85	50.10
CJZCH	Juárez	249.11	238.90	536.30	0.00	129.26	51.89
TNTCH	Tintero	365.12	347.20	688.40	138.19	198.30	54.31
PRRCH	Parral	500.71	479.70	1,019.60	165.80	232.76	46.49
CDLCH	Delicias	305.66	284.30	595.40	91.14	142.61	46.66
OJNCH	Ojinaga	256.18	255.50	535.60	76.82	122.69	47.89
CAGCH	Casas Grandes	315.83	303.40	547.50	120.10	129.57	41.03
LJSCH	Las Lajas	274.97	307.70	568.20	0.00	172.84	62.86
	Zaragoza	513.85	504.80	739.60	309.90	264.98	51.57
	Mier y Noriega	472.70	486.65	929.00	0.00	199.48	42.20
	Dr. Arroyo	331.46	376.75	871.00	0.00	260.81	78.69

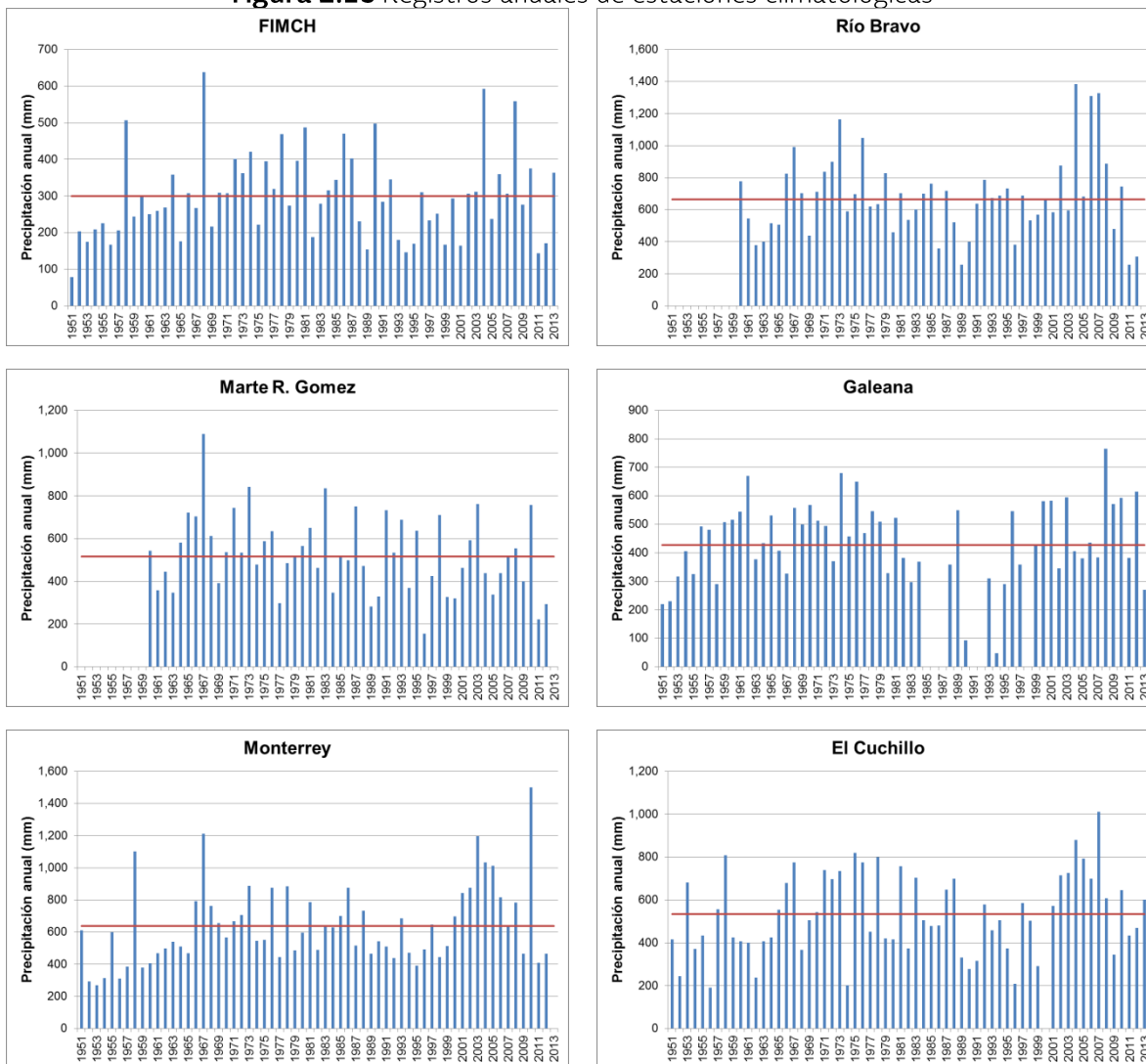
Clave	Nombre	Media	Mediana	Máxima	Mínima	Desviación	C.V.
	Villa Cárdenas	664.11	643.05	1,178.20	364.50	353.91	53.29
	Valle Hermoso	664.05	626.65	1,179.00	407.90	357.98	53.91
	Matamoros	741.92	693.30	1,283.80	304.30	409.71	55.22
	Río Bravo	664.78	666.50	1,383.60	0.00	339.55	51.08
	Reynosa	587.96	583.80	1,008.10	0.00	265.38	45.14
	Díaz Ordaz	580.20	570.58	1,056.30	0.00	280.31	48.31
	Marte R. Gómez	515.04	515.06	1,089.40	0.00	254.66	49.44
	Camargo	581.38	582.50	1,038.97	211.50	326.63	56.18
	Miguel Alemán	532.77	485.15	1,123.40	0.00	267.75	50.26
	Cd. Mier	548.68	532.25	1,103.67	290.50	307.06	55.96
	Aramberri	484.20	471.30	854.60	222.00	256.20	52.91
	Galeana	426.47	433.20	764.70	0.00	186.60	43.76
	San Rafael	347.60	347.02	862.50	0.00	221.17	63.63
	La Asunción	420.02	421.20	629.00	255.08	223.57	53.23
	Observatorio Meteorológico Monterrey	622.57	567.35	1,505.78	0.00	309.28	49.68
19069	La Boca	1,028.28	976.40	2,066.00	0.00	348.55	33.90
	Monterrey	636.42	581.45	1,498.25	267.50	254.41	39.98
19048	Monte Morelos	843.52	776.30	1,785.50	0.00	295.09	34.98
19012	Ciénega de Flores	642.12	613.72	1,417.20	0.00	279.17	43.48
19016	El Cuchillo	520.54	504.80	1,012.10	0.00	212.40	40.80
19043	Madero (Los Aldamas)	535.36	489.15	1,094.70	0.00	306.61	57.27
	El Canadá	482.40	461.75	780.50	0.00	265.76	55.09
	Cerralvo	667.31	588.00	1,444.00	0.00	302.91	45.39
	Higueras	579.23	545.00	1,202.50	199.50	218.98	37.80
	El Cerrito	939.14	900.00	1,737.10	0.00	462.59	49.26
	Las Enramadas	652.55	618.60	1,440.50	0.00	290.38	44.50
	Radiosondeo	505.66	468.40	888.00	249.40	276.26	54.63
	Topo Chico	435.16	435.60	1,196.50	0.00	256.39	58.92
	El Cuchillo	532.88	504.80	1,012.10	191.30	199.13	37.37
	Carmen de los Elizondo	612.93	565.20	1,165.00	289.70	346.25	56.49
	San Francisco (La Carrera)	894.92	851.50	1,635.70	418.14	486.65	54.38
	Las Crucitas	864.96	834.40	1,671.20	433.00	479.26	55.41
	Linares (Camacho)	788.87	785.40	1,378.30	323.60	249.56	31.64
NL039	Mitras (SAHM)	574.38	520.23	1,305.40	260.50	268.19	46.69
NL048	Santa Catarina, N. L.	384.64	356.05	1,058.85	31.75	178.80	46.49
	Colombia	392.86	371.70	814.80	0.00	251.10	63.92
	Cerro Prieto	665.70	649.60	1,292.40	261.00	299.36	44.97
	Cabezones	869.43	842.00	1,522.60	356.10	388.20	44.65

Clave	Nombre	Media	Mediana	Máxima	Mínima	Desviación	C.V.
	La Paloma	650.37	636.00	1,284.40	321.00	357.15	54.91
NL035	Melchor Ocampo, N. L.	653.06	588.00	1,444.00	29.25	285.05	43.65
	Anzalduas	528.16	548.40	1,008.10	0.00	274.06	51.89
LLNCH	Luis L. León	301.36	269.50	601.90	43.40	163.08	54.12
JMNCH	Jiménez	344.99	327.10	661.20	112.08	151.27	43.85
QIJCH	Observatorio Chihuahua	416.19	402.40	714.20	171.20	191.23	45.95
BACCH	Bachiniva	422.84	428.20	664.00	117.00	168.14	39.76
	Vergel	682.22	696.00	1,103.30	38.10	305.53	44.78
CCOCH	Camargo	337.20	328.40	584.80	11.60	152.32	45.17
	Cd. Cuauhtémoc	449.28	433.00	920.10	145.40	186.61	41.54
	Sabinas	437.35	411.90	879.50	131.50	176.28	40.31
	Cuatro Ciénegas	214.92	195.00	482.50	29.25	107.26	49.91
	Progreso	367.96	350.00	872.55	64.40	165.52	44.98
	La Amistad	471.83	481.00	841.50	224.60	227.15	48.14
	San Miguel	548.25	503.50	1,015.00	139.17	294.31	53.68
	Piedras Negras	519.43	470.30	971.20	322.58	290.27	55.88
	Observatorio Saltillo	446.68	447.50	720.04	124.10	242.82	54.36
	San Antonio de las Alazanas	487.69	488.50	808.50	211.00	256.59	52.61
	Múzquiz	618.34	575.90	1,369.00	125.10	352.77	57.05
	Santillo (CNA)	345.08	346.70	632.40	29.25	124.51	36.08
	Observatorio Monclova	346.91	333.95	832.75	74.30	205.54	59.25
	Allende	502.01	486.00	1,001.45	170.90	250.19	49.84
	Candela	384.20	365.25	849.50	97.00	225.34	58.65
	Presa La Amistad	472.83	479.13	841.50	249.10	228.10	48.24
	Santa Cecilia	431.54	398.10	1,140.80	29.25	250.32	58.01

Fuente: CONAGUA, 2013. Organismo de Cuenca VI Río Bravo.

En la Figura 2.13 se presentan algunas gráficas que exhiben los registros mensuales de precipitación de ciertas estaciones climatológicas seleccionadas, las cuales son representativas de la región donde se ubican y permiten observar la gran variabilidad espacial y temporal de la lluvia que existe de una región a otra de la cuenca. Asimismo, las gráficas permiten observar los períodos deficitarios de lluvia con respecto al promedio histórico de cada una de ellas.

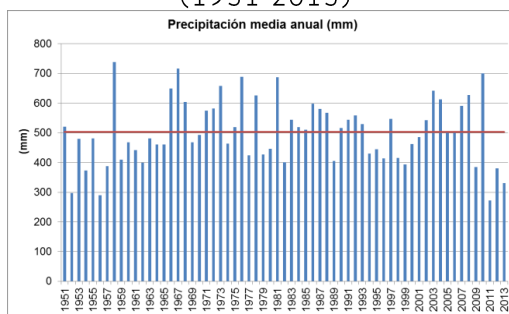
Figura 2.13 Registros anuales de estaciones climatológicas



Fuente: CONAGUA, 2013. Organismo de Cuenca VI Río Bravo.

Asimismo, con base en el promedio de los registros anuales de precipitación de todas las estaciones seleccionadas, en la Figura 2.14 se muestra que en el período que comprende de 1951 a 2013, en el CC Río Bravo se ha registrado una precipitación promedio anual de 502 mm.

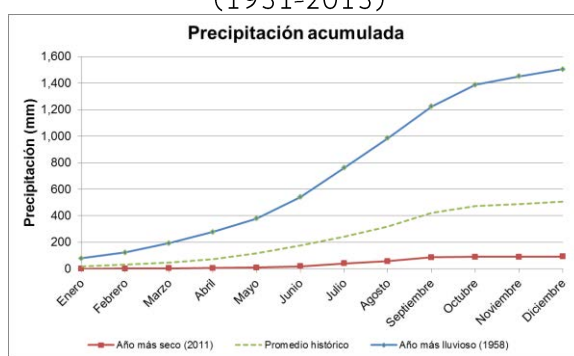
Figura 2.14 Comportamiento histórico de la precipitación total anual en el CC Río Bravo (1951-2013)



Fuente: CONAGUA, 2013. Organismo de Cuenca VI Río Bravo.

En la figura anterior se puede observar que en el lapso mencionado, ocurrieron 34 años con precipitación pluvial por debajo de la media, que representan el 54% del período de registro. El año más seco en las últimas décadas ha sido 2011 en el cual se registró una precipitación total anual de 272.60 mm, lo cual representa un déficit de 46% con respecto al promedio. El segundo y tercer años más secos fueron 1953 y 1952, con una precipitación anual de 289.99 y 296.57 mm, respectivamente, lo cual equivale a un déficit de 42% y 41% con relación al valor de la media histórica. En los demás años en que la precipitación ha sido inferior al promedio, el déficit de la lluvia no ha superado el 26%. Por el contrario, el año más lluvioso ha sido 1958, en el cual se registró una precipitación anual de 738.07 mm, es decir, un 47% superior al promedio; y le siguen en orden descendente 1967, 2010, 1976 y 1981, en todos los cuales se registró una lluvia superior a los 685.00 mm anuales. En la Figura 2.15 se puede observar la precipitación mensual acumulada para el año más seco (2011) y el más húmedo (1958) en comparación con el promedio histórico.

Figura 2.15 Precipitación acumulada promedio y para los años 1956 y 1958 en el CC Río Bravo (1951-2013)



Fuente: CONAGUA, 2013. Organismo de Cuenca VI Río Bravo.

2.3.2. Comportamiento histórico de las aportaciones de agua a las presas de almacenamiento

El comportamiento de los escurrimientos históricos del CC Río Bravo, se puede representar por algunos de los ríos más importantes, cuyas aguas son captadas en 13 presas de almacenamiento y que son las de mayor capacidad de embalse. Los usos principales de estas presas son público urbano y riego (Figura 2.16 y Tabla 2.11).

Figura 2.16 Ubicación de las presas de almacenamiento



Fuente: CONAGUA, 2010c. Sistema de Información de Seguridad de Presas. Subdirección técnica.

Tabla 2.11 Principales presas de almacenamiento

Nombre Oficial	Nombre Común	Corriente	Capacidad* (hm ³)	Usos
Rodrigo Gómez	La Boca	R. San Juan	39.49	Público Urbano
Cuchillo - Solidaridad	El Cuchillo	R. San Juan	1,123.14	Público Urbano, Riego
Marte R. Gómez	El Azúcar	R. San Juan	781.70	Riego
Federalismo Mexicano	San Gabriel	R. Florido	245.43	Riego, Control de Avenidas
Venustiano Carraza	Don Martin	R. Sabinas	1,312.86	Riego
La Boquilla	Lago Toronto	R. Conchos	2,893.57	Riego, Generación Eléctrica
Francisco I. Madero	Las Vírgenes	R. San Pedro	355.29	Riego, Acuacultura, Recreación, Control de Avenidas
La Fragua	La Fragua	A. San Rodrigo	47.30	Riego
Ing. Luis L. León	El Granero	R. Conchos	292.47	Riego, Abrevadero, Control de Avenidas
San Miguel	San Miguel	R. San Diego	21.168	Riego, Abrevadero
El Centenario	El Centenario	R. Manantiales	24.59	Riego, Control de Avenidas
La Amistad	La Amistad	R. Bravo	4,378.00	Riego, Generación Eléctrica, Recreación, Control de Avenidas, Control de Azolves
Falcón		R. Bravo	3,912.00	

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

Fuente: CONAGUA, 2010c. Sistema de Información de Seguridad de Presas. Subdirección técnica.

En la Tabla 2.12 se presenta un resumen de las estadísticas básicas de los registros de aportaciones históricas de las principales presas de almacenamiento. En esta tabla se puede apreciar que los volúmenes de aportaciones varían mucho de una presa a otra, siendo la presa La Boquilla, la que tiene el promedio más alto (1,175 hm³/año), en contraste con la presa San Miguel que sólo tiene una aportación media anual de 18.09 hm³/año. Asimismo, se observa que la presa La Fragua es la que presenta la mayor variabilidad en las aportaciones, con un coeficiente de variación de 161.37%, y le siguen la presa Venustiano Carranza y la Falcón, cuyos coeficientes de variación son de 130.18% y 99.49%, respectivamente. Para el resto de las presas, en general, el coeficiente de variación es igual o inferior al 80%.

Tabla 2.12 Estadísticas básicas de las aportaciones a las presas de almacenamiento

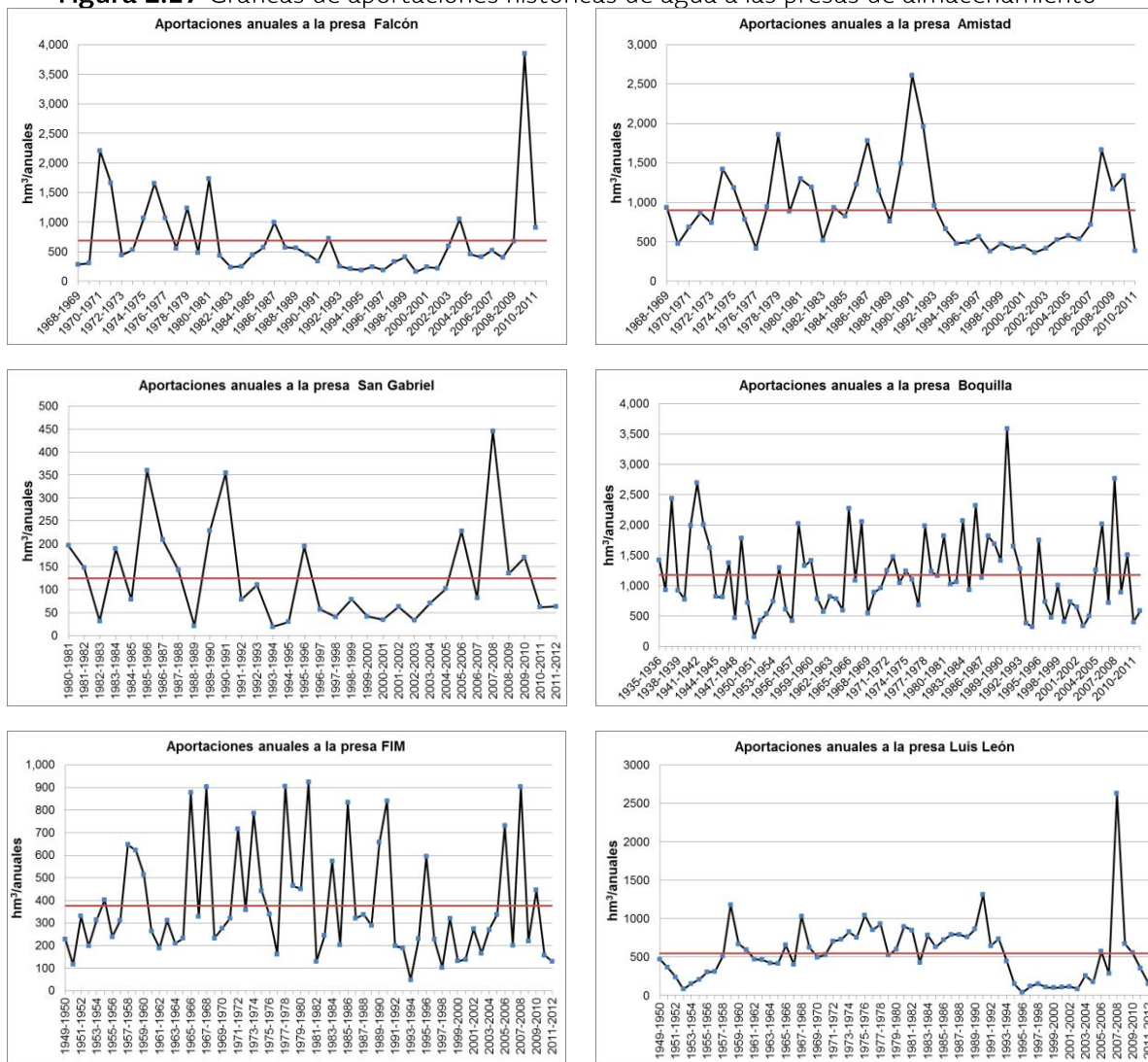
Nombre Oficial	Nombre Común	Medio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	C.V. (%)
Rodrigo Gómez	La Boca	61.573	2.784	215.021	46.498	75.51
Cuchillo - Solidaridad	El Cuchillo	663.867	19.573	2,961.130	497.412	74.92
Marte R. Gómez	El Azúcar	1,016.131	195.995	3,775.937	683.794	67.29
Federalismo Mexicano	San Gabriel	124.377	10.948	445.876	107.219	86.20
Venustiano Carraza	Don Martin	503.136	17.421	4,618.082	655.015	130.18
La Boquilla	Lago Toronto	1,175.874	72.128	3,587.300	679.559	57.79
Francisco I. Madero	Las Vírgenes	376.299	9.166	923.600	245.528	65.24
La Fragua	La Fragua	129.318	2.375	1,085.866	208.691	161.37
Ing. Luis L. León	El Granero	544.218	36.967	2,628.079	402.271	73.91

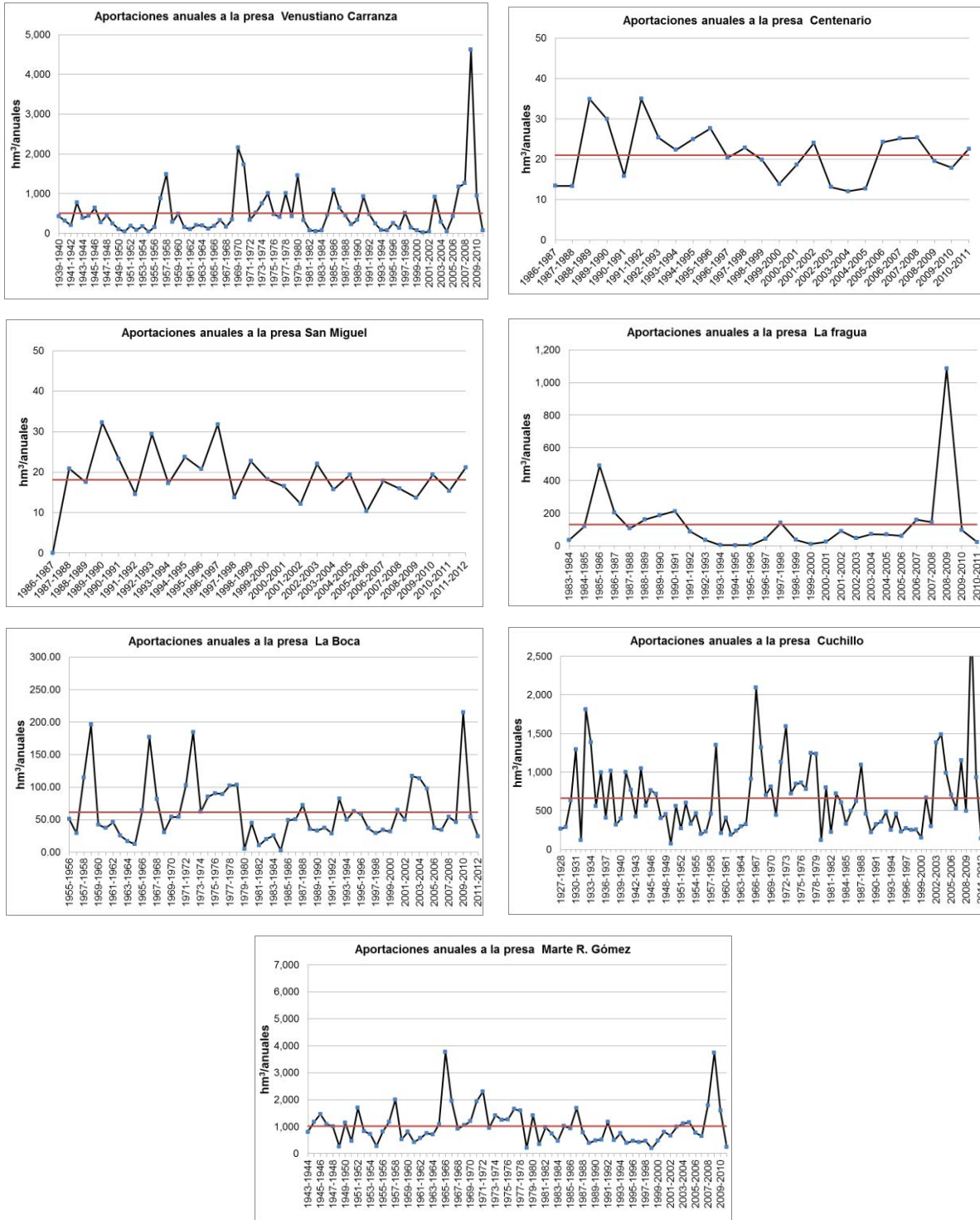
Nombre Oficial	Nombre Común	Medio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	C.V. (%)
San Miguel	San Miguel	18.087	0.000	32.272	7.277	40.23
El Centenario	El Centenario	21.022	11.321	34.986	6.719	31.96
La Amistad	La Amistad	898.963	56.108	2,612.351	521.991	58.06
Falcón		685.489	31.886	3,849.537	682.014	99.49

Fuente: CONAGUA, 2013. Organismo de Cuenca VI Río Bravo.

En la Figura 2.17 se muestra la variabilidad temporal de las aportaciones de cada presa y los períodos deficitarios con respecto al promedio histórico en cada una de ellas. Se puede observar que los escurrimientos que ingresan a las distintas presas ubicadas en la cuenca de Río Bravo no tienen un patrón común, sino que cada una de ellas exhibe un comportamiento particular que no guarda una relación específica con las demás, lo cual indica la gran variabilidad que existe en los escurrimientos de una subcuenca a otra.

Figura 2.17 Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento

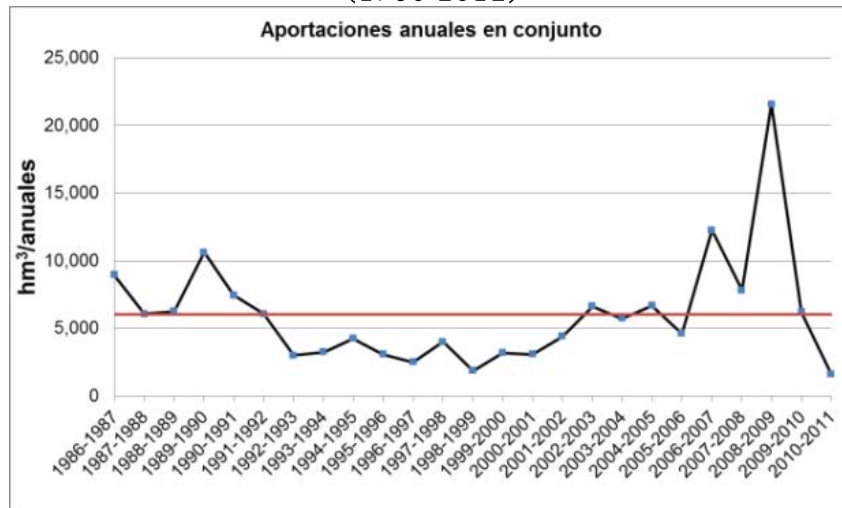




Fuente: CONAGUA, 2013. Organismo de Cuenca VI Río Bravo.

La sumatoria de las aportaciones anuales de todas y cada una de las presas (para el período comprendido de 1986 a 2012, el cual es común a todas las presas), se muestra en la Figura 2.18 en la cual se puede observar que en el lapso mencionado se ha registrado en la cuenca del río Bravo una aportación promedio anual de 6,053.76 hm³.

Figura 2.18 Comportamiento histórico de las aportaciones de agua a las principales presas (1986-2012)



Fuente: CONAGUA, 2013. OC Rio Bravo

En esta figura se puede observar que en el lapso mencionado, ocurrieron 10 años con aportaciones por debajo de la media de forma consecutiva, que representan el 40% del período de registro. El ciclo con menores aportaciones en las últimas tres décadas ha sido el 2011-2012 en el cual se registró una aportación total anual de 1,620.72 hm³, lo cual representa un déficit de -73.2% con respecto al promedio. El segundo ciclo más seco fue 1999-2000, con una aportación anual de 1,874.34 hm³, que equivale a un déficit de -69.0% con relación al valor de la media histórica.

Por el contrario, el ciclo con mayores aportaciones de agua a las presas de almacenamiento ha sido 2007-2008, en el cual se registró una aportación total anual de 21,581.59 hm³, que representa más del 356% del promedio histórico.

2.4. Análisis y caracterización de las sequías

2.4.1. Sequías meteorológicas

La sequía meteorológica se caracteriza por una ausencia prolongada, un déficit marcado o una débil distribución de precipitaciones con relación a la considerada como normal, y es la principal causa de que ocurran los demás tipos de sequía (hidrológica y agrícola); de ahí la importancia de su estudio detallado (CENAPRED, 2007; SEMARNAT, 2009).

Para realizar el análisis y caracterización de las sequías meteorológicas en la cuenca del río Bravo, se consideraron las 47 estaciones climatológicas utilizadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el análisis del Monitor de Sequía, 28 estaciones dentro del CC y 19 estaciones que se localizan alrededor del CC del mismo, con la intención de interpolar la información de precipitación para su análisis (**Figura 2.19** y **Tabla 2.13**). Esto por la razón de que es el SMN el responsable asignado de hacer el monitoreo de la sequía, mensualmente, de acuerdo con los criterios y elementos del Monitor de sequía para América del Norte (SMN, 2013, DOF, 2012)

Figura 2.19 Ubicación de las estaciones climatológicas



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2013.

Tabla 2.13 Estaciones climatológicas

CLICOM	SIH	Nombre	Estado	Latitud	Longitud	Periodo
5002	ADLCL	Allende	Coahuila	28.33000	-100.83000	1951-2013
5020	MZQCL	Múzquiz	Coahuila	27.86000	-101.51000	1953-2013
5022	OCMCL	Ocampo	Coahuila	27.31000	-102.39000	1960-2013
5024	PARCL	Parras, Parras	Coahuila	25.44000	-102.17000	1961-2013
5030	VCRCL	Presa Venustiano Carranza, Juárez	Coahuila	27.52000	-100.62000	1951-2013
5033	SBNCL	Sabinas (Dge), Sabinas	Coahuila	27.85000	-101.12000	1953-2013
5035	SAACL	San Antonio Las Alazanas (Dge), Arteaga	Coahuila	25.27000	-100.58000	1954-2013
5036	SPECL	San Pedro	Coahuila	25.76000	-103.00000	1963-2013
5039	SMJCL	Sierra Mojada	Coahuila	27.28000	-103.70000	1960-2013
5044	CCGCL	Cuatro Ciénegas	Coahuila	26.99000	-102.07000	1951-2013
5048	SALCL	Saltillo (Dge), Saltillo	Coahuila	25.43000	-101.00000	1951-2013
5086	SMGCL	Presa San Miguel	Coahuila	29.04000	-100.96000	1964-2013
5187	AMSCL	Presa Amistad	Coahuila	29.45000	-101.06000	1961-2013
8029	JMNCH	Jiménez Puente, Jiménez	Chihuahua	27.14000	-104.91000	1951-2013
8031	OJNCH	Ojinaga	Chihuahua	29.57000	-104.41000	1957-2013
8044	CDLCH	Delicias (Dge), Delicias	Chihuahua	28.19000	-105.46000	1951-2013
8049	LLNCH	Luis L. León	Chihuahua	28.98000	-105.28000	1964-2013
8059	TNTCH	El Tintero	Chihuahua	29.85000	-107.46000	1960-2013
8074	GPCCH	Guapoca	Chihuahua	29.13000	-108.30000	1961-2013
8078	PRRCH	Parral	Chihuahua	26.92000	-105.68000	1957-2013

CLICOM	SIH	Nombre	Estado	Latitud	Longitud	Periodo
8085	LBQCH	La Boquilla, San Francisco de Conchos	Chihuahua	27.54000	-105.41000	1951-2013
8172	GYCCH	Guadalupe y Calvo	Chihuahua	26.11000	-106.97000	1958-2013
8184	CAGCH	Nuevo Casas Grandes (Dge), Nuevo Casas Grandes	Chihuahua	30.41000	-107.91000	1951-2013
8202	FIMCH	Presa Francisco I. Madero, Rosales	Chihuahua	28.17000	-105.63000	1951-2013
8219	C08219	Peñitas	Chihuahua	29.25000	-108.09000	1973-2013
8270	C08270	La Mesa	Chihuahua	28.78000	-105.96000	1975-2013
8326	AGZCH	Presa Abraham González	Chihuahua	28.50000	-107.47000	1963-2013
10005	CEBDR	Ceballos	Durango	26.32000	-104.35000	1956-2013
10029	GNCDR	Guanaceví	Durango	25.93000	-105.95000	1951-2013
10045	MPMDR	Mapimí	Durango	25.83000	-103.85000	1963-2013
10075	SMODR	Santa María del Oro	Durango	25.95000	-105.37000	1967-2013
10078	SRDDR	Sardinas, San Bernardo	Durango	26.08000	-105.57000	1970-2013
10085	THODR	Tlahualilo	Durango	26.11000	-103.44000	1963-2013
19007	CABNL	Cabezones	Nuevo León	24.99000	-99.74000	1960-2013
19011	CPRNL	Cerro Prieto, Linares	Nuevo León	24.94000	-99.39000	1958-2013
19012	CDFNL	Ciénega de Flores	Nuevo León	25.95000	-100.17000	1951-2013
19016	CCHNL	El Cuchillo, China	Nuevo León	25.72000	-99.26000	1951-2013
19024	ANHNL	Anáhuac	Nuevo León	27.24000	-100.13000	1951-2013
19035	CAMNL	Camacho	Nuevo León	24.87000	-99.58000	1951-2013
19039	LERNL	Las Enramadas	Nuevo León	25.50000	-99.53000	1951-2013
19049	MTRNL	Monterrey (Dge), Monterrey	Nuevo León	25.68000	-100.27000	1951-2013
19057	SRANL	San Rafael	Nuevo León	25.03000	-100.55000	1956-2013
19069	LBCNL	La Boca, Santiago	Nuevo León	25.43000	-100.13000	1972-2013
28086	FDOTP	San Fernando	Tamaulipas	24.85000	-98.16000	1951-2013
28100	CDOTP	S-J-2-18 Díaz Ordaz	Tamaulipas	26.24000	-98.62000	1960-2013
28900	MRGTP	Presa Marte R. Gómez	Tamaulipas	26.19000	-98.93000	1960-2013
28901	RIBTP	Río Bravo	Tamaulipas	25.87000	-98.09000	1960-2013

Fuente: Sistema Meteorológico Nacional, 2013.

2.4.1.1. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

Este índice fue desarrollado por McKee y colaboradores en 1993 (McKee *et al.*, 1993), con el propósito de determinar a través del tiempo el déficit de lluvia para una región y en un período de tiempo dado. El SPI permite manipular diversas escalas de tiempo, por lo cual es posible identificar los impactos de la sequía en periodos de corto, mediano y largo plazos.

Estos períodos reflejan el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos: las condiciones de humedad del suelo responden a las anomalías pluviométricas en un intervalo de tiempo relativamente corto, mientras que los depósitos subterráneos, los cauces superficiales y el agua almacenada en presas, lagos y lagunas, reflejan tales anomalías a largo plazo, razón por la cual, originalmente, el SPI se calculaba para períodos de 3, 6, 12, 24 y 48 meses (McKee *et al.*, 1993). Así, por ejemplo, la escala temporal de 12 meses (mediano plazo,

SPI-12) representa el comportamiento de la precipitación acumulada en el mes de interés y durante los 11 meses anteriores a éste.

Para el cálculo del SPI se requieren únicamente los registros históricos de precipitación del lugar que se desea estudiar. El procedimiento involucra el ajuste de las series históricas de precipitación mensual a la función de distribución probabilística Gamma, que de acuerdo con los autores citados, es la función de distribución que mejor ajuste ofrece en series de precipitación.

La distribución Gamma está definida por su frecuencia o función de densidad de probabilidad. Para cada registro de precipitación se determina su valor de probabilidad acumulada mediante la función de distribución Gamma incompleta. Dado que esta función de distribución no está definida para valores iguales a cero, es necesario estimar la probabilidad acumulada de los registros que tienen este valor. En una última fase, la probabilidad acumulada se transforma a la variable z de una función de distribución normal estándar que tiene un valor medio igual a cero y una varianza igual a uno; el valor resultante de esta transformación corresponde al valor del SPI.

Según Mckee *et al.* (1993), el SPI corresponde al número de desviaciones estándar que cada observación se desvía del promedio histórico, quedando éste último representado por cero. Los valores negativos del índice, representan el déficit de la precipitación y, de manera contraria, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida fue superior al promedio histórico. Dado que el SPI está normalizado, los climas más húmedos y más secos se pueden representar de la misma forma y, con el uso de este indicador, también se puede hacer el seguimiento de los períodos húmedos. Los valores del SPI se clasifican tal como se muestra en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Interpretación de los valores del SPI

Valor del SPI	Interpretación
≥ 2.0	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Condiciones normales
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Muy seco
≤ -2.0	Extremadamente seco

Fuente: Mckee *et al.* (1993)

De acuerdo con esta tabla, el criterio para definir un “evento de sequía” para cualquier escala de tiempo es que éste ocurre siempre que el SPI sea permanentemente negativo y alcance una intensidad de -1.0 o menor; el fenómeno finaliza cuando el SPI se hace positivo. Cada fenómeno de sequía, por lo tanto, tiene una duración definida por su comienzo y su final, y una intensidad diferente para cada mes que dure el fenómeno. La severidad de la sequía es la magnitud acumulada y es el valor de la suma del SPI de todos los meses que dura el evento.

De esta manera, y con base en las series históricas de precipitación acumulada mensual del periodo comprendido de 1951 a 2013 de las estaciones climatológicas representativas (Figura 2.16), se obtuvo el análisis de frecuencia, duración e intensidad de los eventos de sequía ocurridos en la región del CC Río Bravo, estimando los valores del SPI. La escala de tiempo considerada para el cálculo del SPI fue de tres y seis meses (corto plazo). En este caso, para definir los tipos de sequía con base en los valores del SPI, se utilizó la clasificación propuesta por el *Global Drought Monitor* (GDM), la cual se muestra en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Clasificación de la sequía de acuerdo con los valores del SPI.

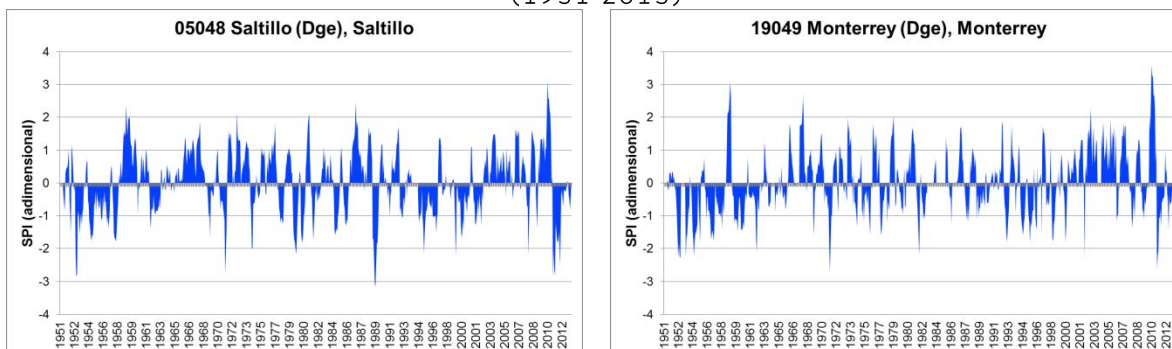
Categoría de sequía	Rango de SPI	Impactos potenciales
Condición normal	0 a -0.4	
Condición anormal seca (D0)	-0.5 a -0.7	Se presentan períodos cortos de lento crecimiento en cultivos y pastizales; el riesgo de incendios se presenta por encima de lo normal. Cuando este período concluye, existe un déficit de agua persistente; los cultivos y pastizales no se recuperan por completo.
Sequía moderada (D1)	-0.8 a -1.2	Se presentan daños a cultivos y pastizales; el riesgo de incendios es alto; las corrientes de agua, cuerpos de agua y pozos disminuyen sus niveles y comienza una escasez de agua.
Sequía severa (D2)	-1.3 a -1.5	Probables pérdidas en cultivos y pastizales; el riesgo de incendios es muy alto; la escasez de agua se incrementa.
Sequía extrema (D3)	-1.6 a -1.9	Pérdidas considerables en cultivos y pastizales; riesgo de incendios extremo; escasez de agua generalizada.
Sequía excepcional (D4)	< -2.0	Grandes pérdida extensivas en cultivos y pastizales; el riesgo de incendios es excepcional; hay escasez de agua en cuerpos de agua y pozos.

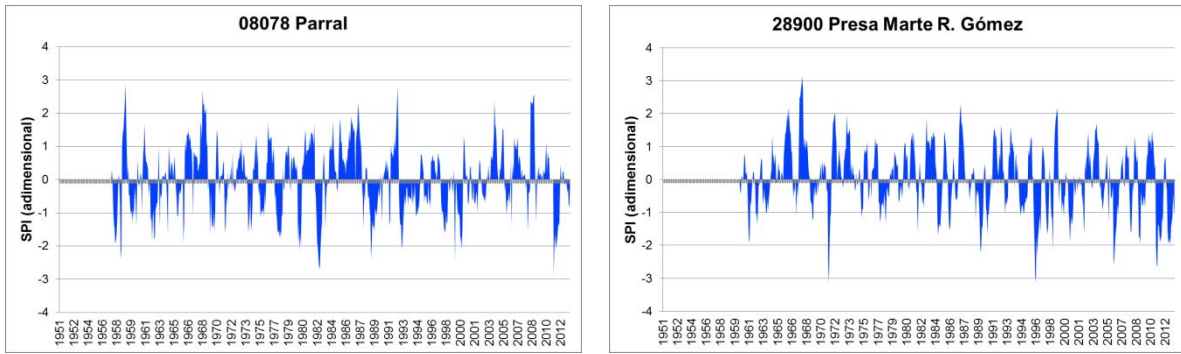
Fuente: NDMC, 2013.

De acuerdo con esta tabla, se considera el inicio de un evento de sequía cuando los valores del SPI se presentan de manera continua por debajo de -0.5 (inclusive). La prolongación de estos valores a través del tiempo permite definir la duración del evento, dado que el fenómeno finaliza cuando el SPI alcanza valores superiores a -0.5; la intensidad máxima es el valor mínimo del SPI registrado en el período de sequía.

De esta forma, con los valores mensuales obtenidos del SPI calculado a tres y seis meses (corto plazo) se muestran en las gráficas correspondientes a este indicador para algunas estaciones climatológicas de la cuenca (una por cada entidad federativa), las cuales se presentan en la Figura 2.20. En estas gráficas se observa el comportamiento a través del tiempo (1951-2013) de los períodos secos y los períodos húmedos en cada una de las estaciones seleccionadas.

Figura 2.20 Gráficas del SPI-6 meses para estaciones climatológicas del CC Río Bravo (1951-2013)





Fuente: Sistema Meteorológico Nacional, 2013.

De igual forma, con base en los valores mensuales obtenidos del SPI-6 se clasificaron las sequías meteorológicas según su tipo para las mismas estaciones representativas ilustradas en la figura anterior, cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Clasificación de sequías según el SPI en estaciones climatológicas representativas del CC Río Bravo

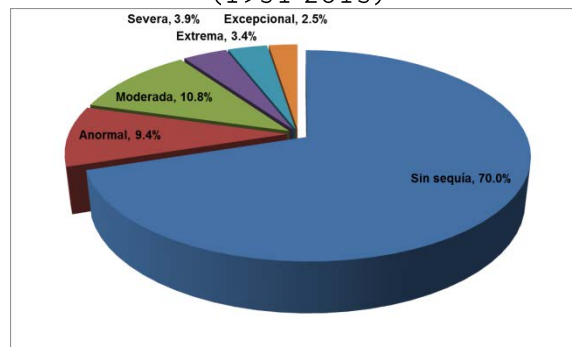
Estación	Meses con registro	Meses con sequía		Meses por tipo de sequía				
		Número	%	Anormal	Moderada	Severa	Extrema	Excepcional
Saltillo (Dge), Saltillo	729	222	30.5	62	89	30	22	19
Monterrey (Dge), Monterrey	689	215	31.2	71	84	28	20	12
Parral	667	197	29.5	53	67	38	25	14
Presa Marte R. Gómez	637	198	31.1	72	60	26	27	13

Fuente: IMTA, 2013. Análisis del SPI.

Como se puede observar en esta tabla, en todas las estaciones climatológicas analizadas el número de meses con sequía oscila entre el 29% y 32% del período de registro, teniendo como promedio 30.5%.

En la Figura 2.21 se presenta la distribución porcentual de las sequías meteorológicas según su tipo para el CC Río Bravo. Se puede apreciar que aproximadamente del 70% del período de registro no se ha presentado ningún tipo de sequía; los tipos de sequía más frecuentes son la sequía moderada y la condición anormal seca, representando el 10.8% y 9.4% de los eventos registrados, respectivamente.

Figura 2.21 Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía meteorológica en el CC Río Bravo (1951-2013)



Fuente: IMTA, 2013. Análisis del SPI.

Cuando ocurre la condición anormal seca (el primer rango en la escala de severidad de las sequías), se presentan períodos cortos de lento crecimiento en cultivos y pastizales, y el riesgo de incendios se presenta por encima de lo normal. Cuando este período concluye, existe un déficit de agua persistente, por lo que los cultivos y pastizales no se recuperan por completo. Por su parte las sequías moderadas ocasionan daños a los cultivos y pastizales; el riesgo de incendios es alto; las corrientes, cuerpos de agua y pozos disminuyen sus niveles y comienza una escasez del líquido vital; en otras palabras, aquí comienza a ocurrir la sequía agrícola e hidrológica. Las sequías severas, extremas y excepcionales son menos frecuentes, pues en conjunto ocupan solamente el 9.8% de los meses con sequía. Cuando ocurre una sequía severa, hay probables pérdidas en cultivos y pastizales, el riesgo de incendios es muy alto y la escasez de agua se incrementa. En los meses en que ocurre una sequía extrema, las pérdidas son considerables en cultivos y pastizales, el riesgo de incendios es extremo y hay una escasez de agua generalizada. Finalmente, si la sequía es de tipo excepcional, se tienen grandes pérdidas extensivas en cultivos y pastizales, el riesgo de incendios forestales es extraordinario y hay escasez del líquido vital en cuerpos de agua y pozos, es decir, el fenómeno pasa de ser una simple sequía meteorológica para convertirse en sequía agrícola, hidrológica y socioeconómica. La frecuencia y la duración medias de cada período de sequía, así como los períodos máxima duración y la fecha de registro de intensidad máxima de la sequía, para cada estación meteorológica, se presentan en la Tabla 2.17.

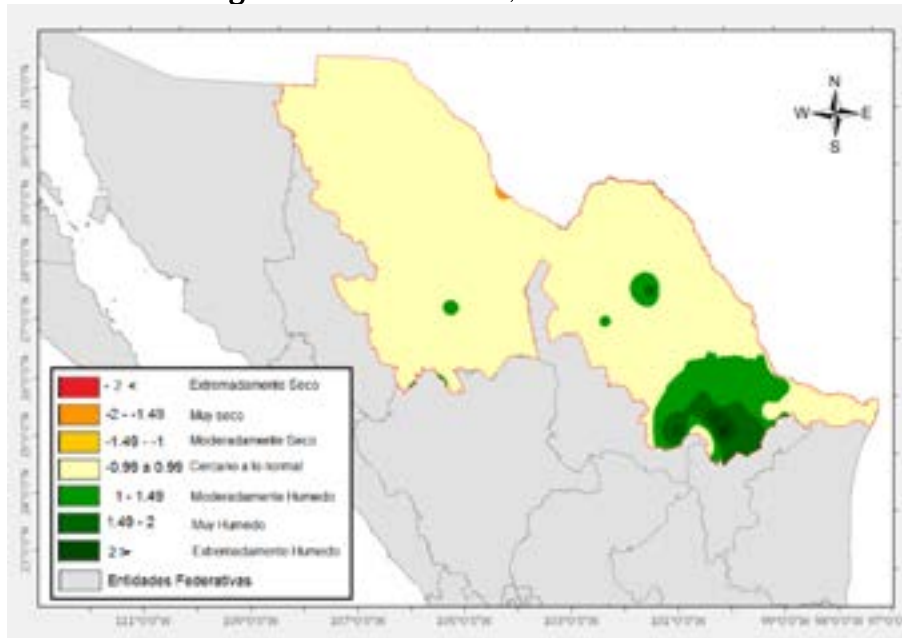
Tabla 2.17 Clasificación de sequías según el SPI en estaciones climatológicas representativas del CC Río Bravo

Estación	No. de períodos de sequía*	Frecuencia media (meses)	Duración media (meses)	Período de máxima duración			Intensidad máxima	
				No. de meses	Fecha de inicio	Fecha de término	Valor del SPI	Fecha de registro
Saltillo (Dge), Saltillo	19	19	2.0	12	mar-11	feb-12	-3.16	jul-89
Monterrey (Dge), Monterrey	16	16	1.8	11	jul-57	may-58	-2.70	abr-71
Parral	15	15	2.2	13	dic-88	dic-89	-2.85	jun-11
Presa Marte R. Gómez	13	13	2.0	12	jul-94	jun-95	-3.16	abr-71

Fuente: IMTA, 2013. Análisis del SPI.

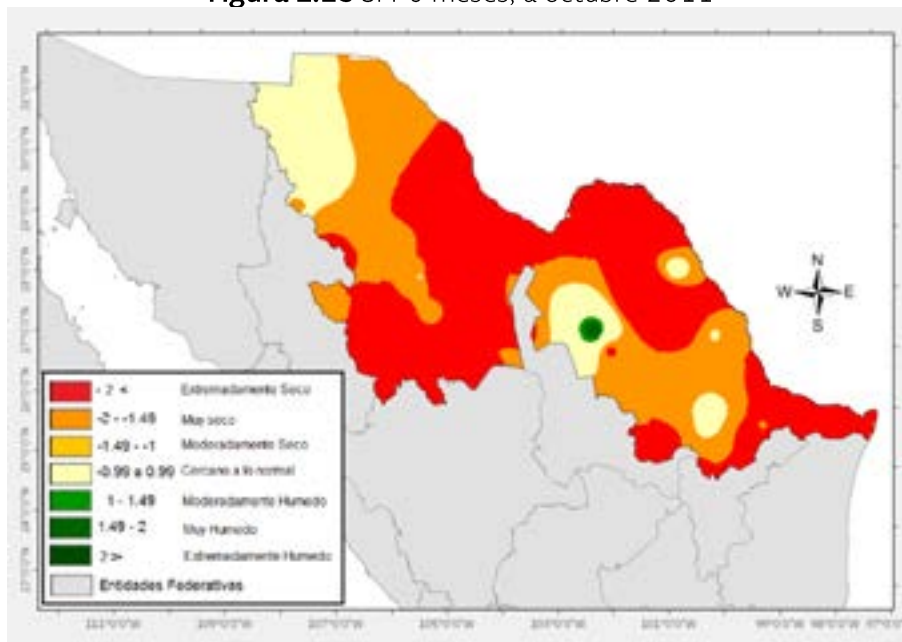
En la tabla anterior se aprecia que, en lapso de 1951-2012, han ocurrido entre 13 y 19 períodos de sequía con duración mayor o igual a 12 meses en todas las estaciones del estado. La frecuencia media varía de 13 a 19 meses de una estación a otra, y los períodos de sequía meteorológica son de muy corta duración, pues en promedio duran 2.6 meses. El comportamiento del índice del SPI-6, de todas las estaciones identificadas en el CC Río Bravo, se muestra en la Figura 2.22 a Figura 2.24 en el periodo de 2010 al 2012.

Figura 2.22 SPI-6 meses, a octubre 2010



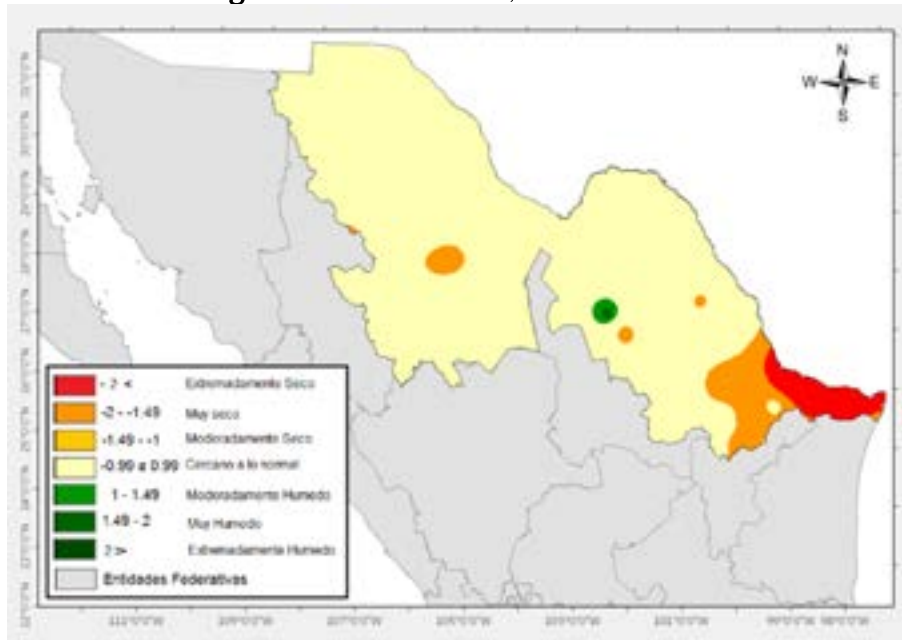
Fuente: SMN, 2013.

Figura 2.23 SPI-6 meses, a octubre 2011



Fuente: SMN, 2013.

Figura 2.24 SPI-6 meses, a octubre 2012



Fuente: SMN, 2013.

Como se puede observar en las figuras, para octubre de 2010 la región del CC Río Bravo no se detectaron problemas de sequía en toda la región (estaban los remanentes del huracán Alex): se encontraba en el estado cercano a lo normal, lo que implicó que al disminuir la precipitación en la región se presentara algún grado de sequía, como lo que sucedió en el año 2011, donde se observa que un 75% de la región, aproximadamente, se tuviera una sequía extrema, lo cual cambió, para el escenario del año 2012, donde el incremento de la lluvia, facilitó a que la región se recuperara en la mayor parte del territorio, alcanzando un estado cercano a lo normal, a excepción del lado oeste, donde se prolongó la sequía de nivel muy seco y extremadamente seco.

En el CC, dadas sus condiciones naturales, hay poca agricultura de temporal, por lo cual se puede comentar que la sequía agrícola, aun cuando sí se presente, tiene afectaciones en pocas superficies; no obstante, para la población que se dedica a esta actividad y que depende de ella, los resultados por lluvia insuficiente llegan a ser catastróficos.

2.4.2. Sequías hidrológicas

La sequía hidrológica se refiere a la deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas (ríos, embalses, acuíferos, lagos, etc.) con respecto a los niveles considerados como normales. La sequía hidrológica es una consecuencia de la sequía meteorológica, por la relación directa entre las cantidades de precipitación y la afluencia del agua en la superficie y en el subsuelo, aunque la sequía hidrológica puede demorar su inicio durante meses después del inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, puede ser que no llegue a manifestarse.

Para analizar y caracterizar detalladamente los períodos de sequía hidrológica registrados en cada una de las presas de almacenamiento, se utilizó el Índice Hidrológico de Sequía (SDI, *Surface Drought Index*), en 14 series de aportaciones a las presas principales de almacenamiento, el cual se describe a continuación.

2.4.2.1. Índice Hidrológico de Sequía (SDI)

Este índice fue desarrollado por Nalbantis y Tsakiris (2009) con el propósito de determinar a través del tiempo el déficit de caudales (escurrimientos) para una corriente y en un período de tiempo dado. De acuerdo con su metodología, la relación de sequía entre cuatro aspectos, severidad-duración-frecuencia-área, se reduce a solo dos, severidad contra frecuencia.

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

$$V_{i,k} = \sum_j^{3k} Q_{i,j} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4$$

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

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

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,j} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (2)$$

$i = 1, 2, 3, 4$ donde \bar{V}_k es la media y S_k la desviación estándar de los volúmenes de escurrimiento acumulados del periodo de referencia k , tal como los estimados en un periodo largo de tiempo.

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

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,j} - \bar{y}_k}{S_{y,k}} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4$$

donde:

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}) \quad (4)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4$$

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

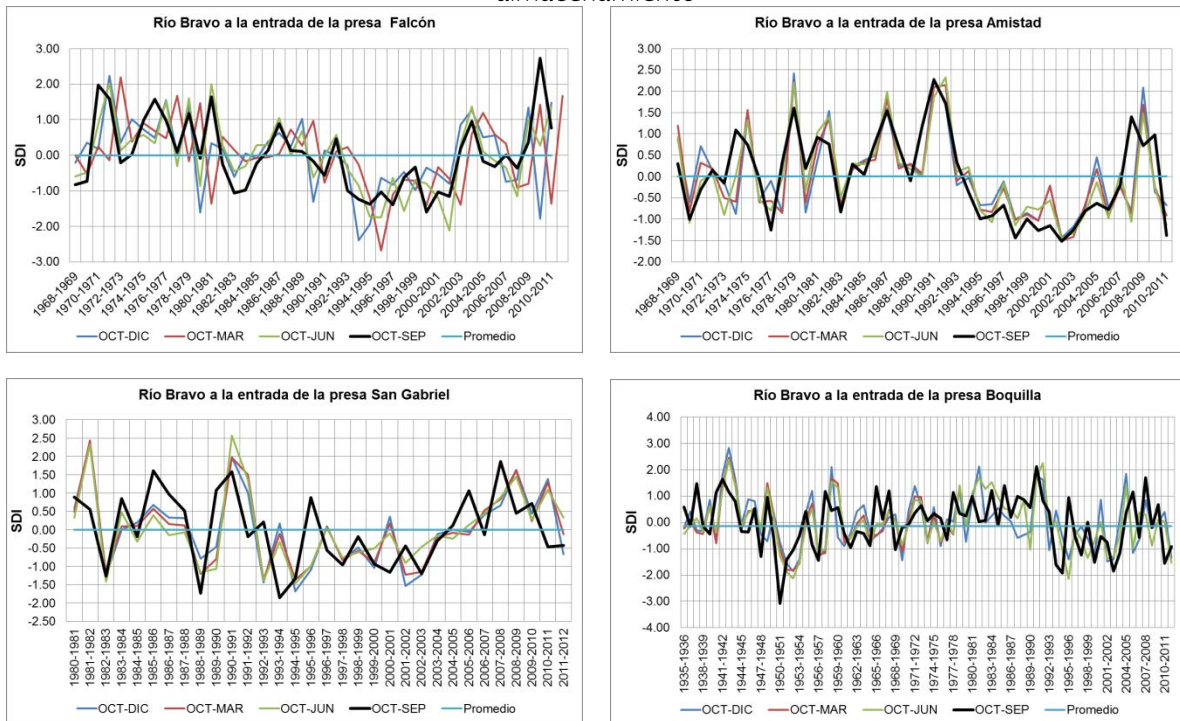
De igual forma, como en la metodología del SPI para la obtención del índice de sequía meteorológica, la clasificación por categorías del SDI se muestra en la Tabla 2.18.

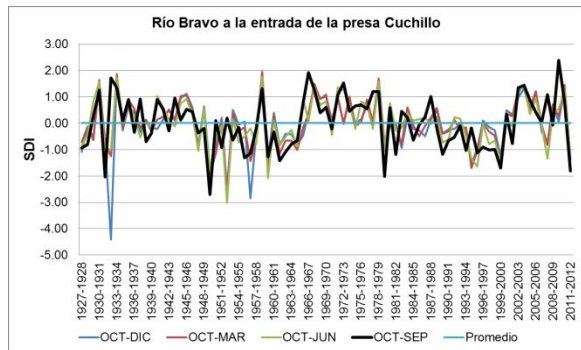
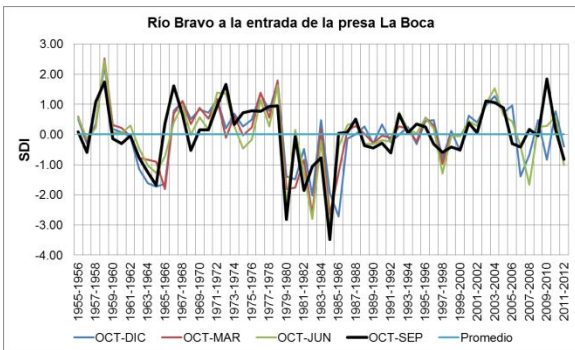
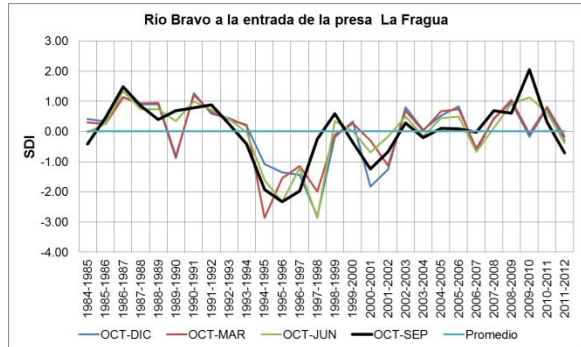
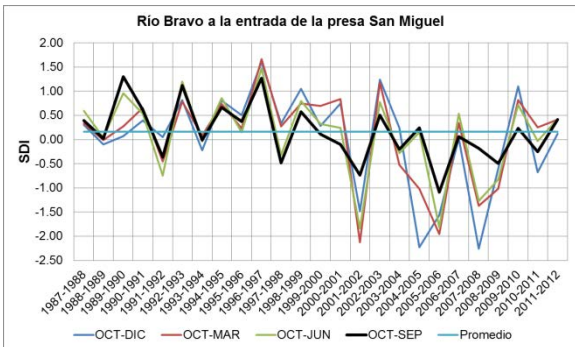
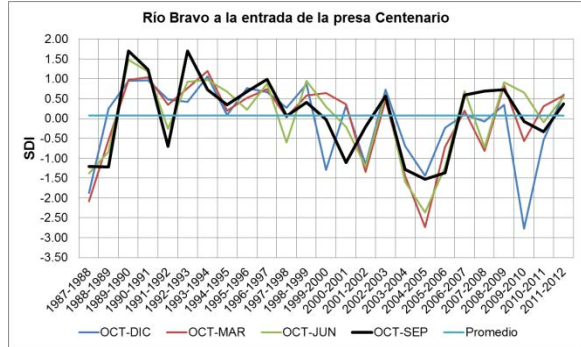
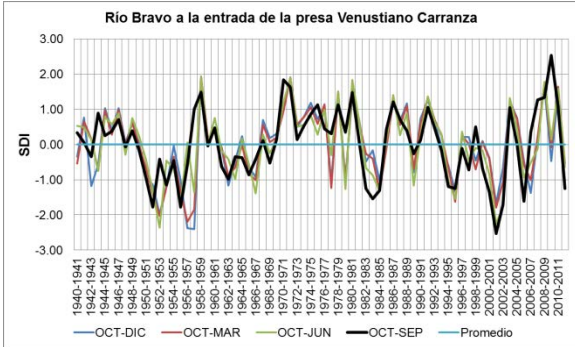
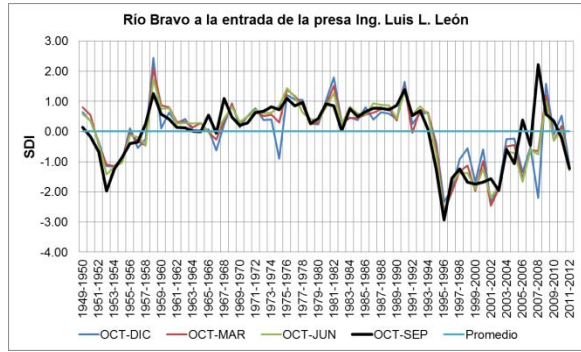
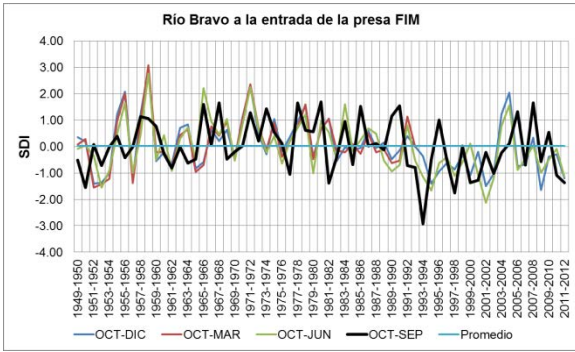
Tabla 2.18 Interpretación de los valores del SDI

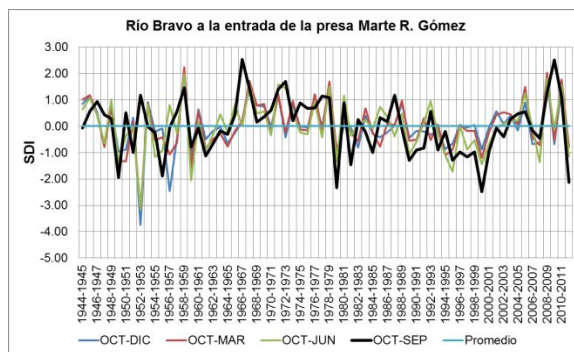
Estado	Valor del SDI	Interpretación	Probabilidad (%)
0	$SDI \geq 0$	Sin sequía	50.5
1	$-1.0 \leq SDI < 0.0$	Sequía ligera	34.1
2	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	Sequía moderada	9.2
3	$-2.0 \leq SDI < -1.5$	Sequía severa	4.4
4	$SDI < -2.0$	Sequía extrema	2.3

En las siguientes gráficas se muestra el análisis del SDI con base en las aportaciones históricas de agua para cada una de las principales presas de almacenamiento, tomando en cuenta la sumatoria de los datos de aportaciones para cuatro períodos de cada año hidrológico: octubre-diciembre, octubre-marzo, octubre-junio y octubre-septiembre. Es importante recordar que el año hidrológico en México inicia el primero de octubre de cada año y termina el 30 de septiembre del año siguiente (Figura 2.25).

Figura 2.25 Gráficas del Índice Hidrológico de Sequía (SDI) para cada una de las presas de almacenamiento







Fuente: CONAGUA. OC Río Bravo

Se puede apreciar que el comportamiento del SDI es muy variable en cada una de las presas, lo cual obedece, evidentemente, a la variabilidad de las aportaciones de agua registradas en cada una de ellas.

En la Tabla 2.19 se presenta una caracterización detallada de las sequías hidrológicas según su tipo. En esta tabla se observa que en todas las presas la proporción de años con algún tipo de sequía es variable de una presa a otra: la presa que registra el mayor porcentaje de años con sequía es la presa Falcón (53.5%), y la que tiene la menor proporción de años secos es la presa Ing. Luis L. León (36.5%). En todas las presas el porcentaje de años con sequía severa es igual o inferior al 30.0% del período de registro, y el porcentaje de años con sequía extrema es igual o inferior al 9%. Inclusive, hay presas como San Gabriel, San Miguel, El Centenario, La Amistad y Falcón, en las cuales nunca se ha registrado una sequía extrema, según estos criterios.

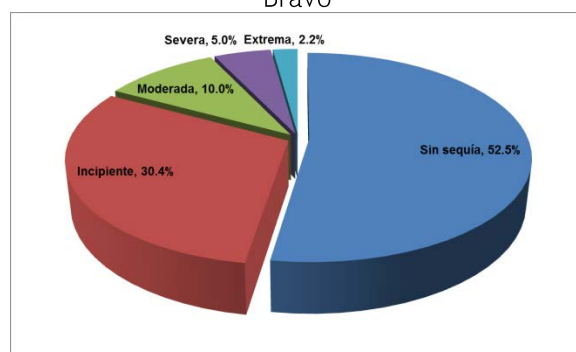
Tabla 2.19 Clasificación de sequías hidrológicas en la cuenca del río Bravo

Nombre Oficial	Años con registro	Años con sequía		Años por tipo de sequía			
		Número	%	Incipiente	Moderada	Severa	Extrema
Rodrigo Gómez	57	26	45.6	20	2	2	2
Cuchillo - Solidaridad	85	42	49.4	27	10	2	3
Marte R. Gómez	68	34	50.0	24	5	2	3
Federalismo Mexicano	32	17	53.1	11	4	2	0
Venustiano Carraza	72	34	47.2	21	7	5	1
La Boquilla	78	37	47.4	23	7	5	2
Francisco I. Madero	64	34	53.1	23	7	2	2
La Fragua	28	12	42.9	8	1	2	1
Ing. Luis L. León	63	23	36.5	10	5	7	1
San Miguel	25	10	40.0	9	1	0	0
El Centenario	25	11	44.0	5	5	1	0
La Amistad	43	22	51.2	14	7	1	0
Falcón	43	23	53.5	15	7	1	0

Fuente: CONAGUA. OC Río Bravo

Al promediar los porcentajes por tipo de sequía registradas en todas las presas, se puede observar que a nivel CC Río Bravo, en casi el 53% de los años con registro no ha existido sequía hidrológica de ningún tipo; en el 30% de los años se han registrado sequías de tipo incipiente; 10% de las sequías han sido moderadas; 5% han sido sequías severas; y sólo 2% en promedio han sido sequías extremas.

Figura 2.26 Distribución porcentual de los años por tipo de sequía hidrológica en la cuenca del río Bravo



Fuente: CONAGUA. OC Río Bravo

Asimismo, en la Tabla 2.20 se presentan los períodos de sequía hidrológica más prolongados que se han registrado en cada presa de almacenamiento, así como los años más secos y el tipo de sequía correspondiente. Se puede observar que los períodos de sequía más prolongados varían desde 5 años hasta 12 años (presa Cuchillo-Solidaridad).

Tabla 2.20 Períodos de sequía hidrológica más prolongados y años más secos registrados en cada presa de almacenamiento

Nombre Oficial	Años con registro	Sequía más prolongada			Periodo más seco	
		Año inicial	Año final	Duración (Años)	Periodo	Tipo de sequía
Rodrigo Gómez	57	1979	1985	6	1984-1985	Extrema
Cuchillo - Solidaridad	85	1988	2000	12	1999-2000	Severa
Marte R. Gómez	68	1993	2003	10	1993-2003	Extrema
Federalismo Mexicano	32	1993	2004	11	1993-1994	Severa
Venustiano Carraza	72	1949	1957	8	1951-1952	Severa
La Boquilla	78	1999	2000	5	2002-2003	Severa
Francisco I. Madero	64	1999	2004	5	1999-2000	Moderada
La Fragua	28	1993	1998	5	1993-1994	Extrema
Ing. Luis L. León	63	1994	2005	11	1995-1996	Extrema
San Miguel	25	2005	2006	1	2005-2006	Moderada
El Centenario	25	2003	2006	3	2004-2005	Severa
La Amistad	43	1993	2007	14	2001-2002	Severa
Falcón	43	1992	2002	10	1999-2000	Severa

Fuente: CONGUA, 2013.

Finalmente, cabe mencionar que el periodo de 1999 al 2005, es donde se han presentado la mayoría de las sequías hidrológicas (desde incipiente hasta extrema) en casi todas las presas.