

El desafío sociohidrológico de la cuenca del río Tijuana ante el cambio climático

The Socio-hydrological Challenge of the Tijuana River Watershed to Address Climate Change

Juan Manuel Rodríguez Esteves*  <https://orcid.org/0000-0002-9022-9655>

Resumen

El objetivo es analizar el contexto sociohidrológico de la cuenca del río Tijuana para enfrentar el cambio climático. Se eligió esta cuenca porque se ubica en una región semidesértica y porque la comparten México y Estados Unidos, lo que le imprime características propias. La metodología se basó en la consulta del Registro Público de Derechos de Agua, en datos de la Comisión Nacional del Agua, en proyecciones de población, en escenarios ante el cambio climático y en publicaciones académicas, con lo cual se analizó el régimen hidrológico, el crecimiento urbano y la cooperación binacional. Los resultados permiten entender la dependencia del trasvase de agua y la cooperación entre México y Estados Unidos. Una limitación del estudio radica en que se debe considerar la opinión de los habitantes para enfrentar la escasez de agua en un contexto de cambio climático, así como las estrategias que han implementado. Se concluye que, a pesar de la poca disponibilidad de agua en un contexto de cambio climático, se cuenta con mecanismos de colaboración binacional para abastecer los centros urbanos de dicho recurso de ambos países.

Palabras clave: régimen hidrológico; crecimiento urbano; Acueducto Río Colorado-Tijuana; cambio climático; cuenca del río Tijuana.

Abstract

The objective is to analyze the socio-hydrological context of the Tijuana River Watershed to address climate change. This watershed was chosen because it was located in a semi-desert region and it is shared by Mexico and the United States, which gives to it specific characteristics. Methodology used the consultation of the Public Register of Water Rights (REPDA), data from the National Water Commission (Conagua), population projections, climate change scenarios, and academic publications, which enabled the hydrological regime, the urban growth, and the binational cooperation analysis. Results lead to understand the water transfer dependency and the cooperation among Mexico and the United States. One limitation of the study is that people's points of view must be considered to address water scarcity in a climate change context, as well as the strategies they have implemented. It is concluded that, despite the low water availability due to the climate change context, there are binational collaboration mechanisms to supply water to urban areas of both countries.

Keywords: hydrological regime; urban growth; Colorado River-Tijuana Aqueduct; climate change; Tijuana River Watershed.

Cómo citar: Rodríguez Esteves, J. M. (2020). El desafío sociohidrológico de la cuenca del río Tijuana ante el cambio climático. *región y sociedad*, 32, e1377. doi: 10.22198/rys2020/32/1377

* El Colegio de la Frontera Norte, Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente. Carretera Escénica Tijuana-Ensenada, km. 18.5, San Antonio del Mar, C. P. 22560, Tijuana, Baja California, México. Correo electrónico: jesteves@colef.mx

Recibido: 6 de agosto de 2020
Aceptado: 13 de noviembre de 2020
Liberado: 11 de diciembre de 2020



Esta obra está protegida bajo una Licencia
Creative Commons Atribución-No Comercial
4.0 Internacional.

Introducción

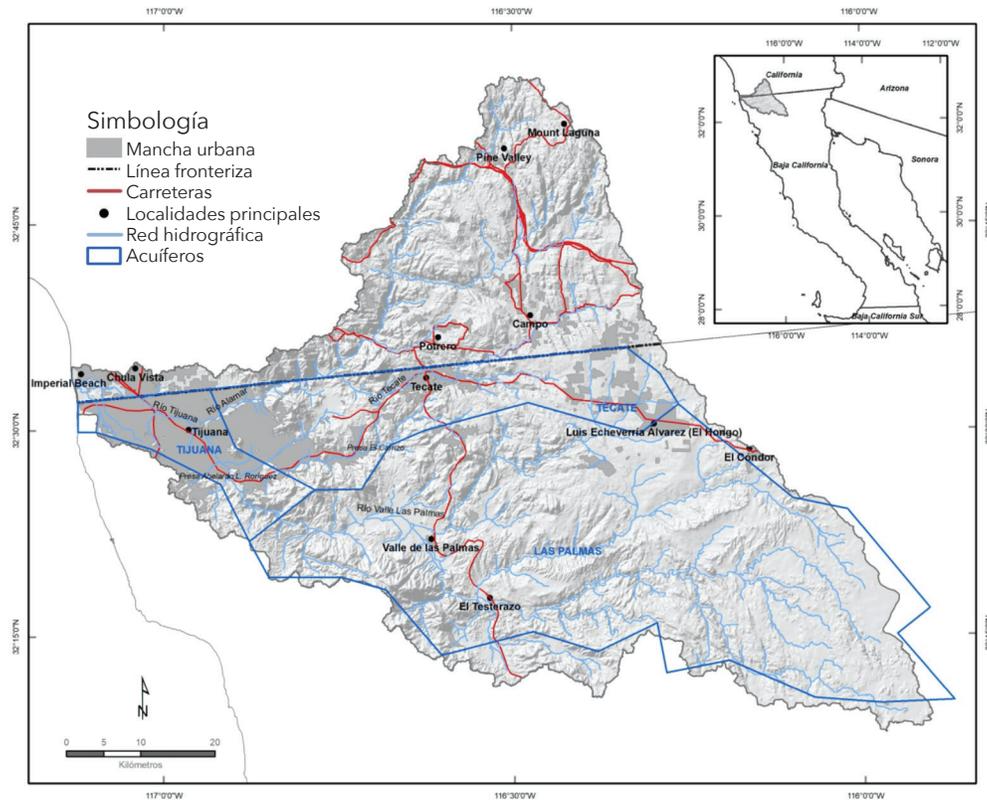
Los escenarios de cambio climático para Baja California (BC) indican que se registrará un aumento de 1° C en la temperatura promedio y una reducción de 15% de las lluvias anuales en los próximos 20 años (Secretaría de Protección al Ambiente [SPA], 2012, p. 2). Estos cambios representan desafíos debido a la reducida disponibilidad de agua para el abastecimiento de los centros urbanos. El cambio climático está asociado no sólo con sequías más prolongadas, sino también con lluvias intensas, y modifica los escenarios de riesgo hidrometeorológico, tal y como ha ocurrido en las ciudades del lado mexicano, donde se han registrado desastres causados por lluvias intensas (Cavazos y Rivas, 2004; Rodríguez, 2007; Sánchez, 2011; Sánchez y Morales, 2018).

La cuenca del río Tijuana (CRT) se ubica en el extremo noroeste de México. Cubre una superficie de 4 532 km². De ésta, 73% se ubica en Baja California y 27% en California, Estados Unidos (véase figura 1). La red de drenaje mantiene una orientación este-oeste y un escurrimiento natural medio superficial de 100 hm³ al año (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018, p. 45). El clima de la región es seco templado (BSK) y la precipitación media anual, menor a 300 mm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2016), a excepción del extremo noreste, donde se registran entre 500 y 650 mm (San Diego State University [SDSU] y El Colegio de la Frontera Norte [El COLEF], 2005, p. 12). Las condiciones naturales de la cuenca inciden sobre las comunidades vegetales, lo cual permite el desarrollo de matorral costero de salvia y chaparral en la mayor parte de ésta (74%). También se encuentran comunidades de matorral de *Juniperus* y pequeñas áreas de bosque de pino *Jeffrey* (*Pinus jeffreyi*) en las partes más altas de la cuenca, es decir, entre 1 800 y 1 944 metros sobre el nivel del mar (msnm) (SDSU y El COLEF, 2005, p. 14) (véase tabla 1).

Las ciudades en la CRT, en particular las del lado mexicano, han experimentado un fuerte crecimiento en las últimas décadas, por lo que la dotación de agua potable es un desafío constante. La ciudad de Tijuana, principal zona urbana de la cuenca, ha experimentado problemas de abastecimiento debido a la poca disponibilidad del recurso y a las tasas anuales de crecimiento poblacional entre 1990 y 2000, cuando registró 5.0%. Disminuyó a 2.5% entre 2000 y 2010, y entre 2010 y 2015 se redujo a 1.1%. Un comportamiento similar se presentó en Tecate, con valores de 4.2%, 2.6% y 0.3%, respectivamente (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], Consejo Nacional de Población [CONAPO] e INEGI, 2018, p. 73). Por lo tanto, se formulan dos preguntas de investigación: ¿cuáles son los principales desafíos a corto y mediano plazo para enfrentar las condiciones de escasez de los recursos hídricos?; y ¿con qué instrumentos de política pública se cuenta para atender estos desafíos?

En la presente investigación se analizó el régimen hidrológico para explicar el contexto de escasez de agua superficial y subterránea. El principal usuario del agua es el público-urbano, por lo cual se analiza el crecimiento poblacional y urbano de las principales ciudades. De igual manera, se revisaron los instrumentos de política pública para atender los posibles efectos asociados con el cambio climático. Uno de los principales resultados señala que, a pesar de que las ciudades están ubicadas en una región semidesértica, cuentan con

Figura 1. Ubicación de la red hidrográfica y de los principales acuíferos de la CRT



Fuente: Unidad de Servicios Estadísticos y Geomática [USEG] y El COLEF (2020).

Tabla 1. Características físicas y ambientales de la CRT

Superficie	4 532 km ²
Gradiente altitudinal	0 (estuario del río) a 1 944 msnm (Cuyapaipe, California)
Relieve	Estuario, mesetas, valles intermedios y montañas
Clima	Mediterráneo
Temperaturas promedio	8 a 18° C
Precipitaciones anuales	150 a 650 mm
Vegetación	Marisma costera, matorral costero de salvia y chaparral, bosques de pino y vegetación riparia
Biodiversidad	Provincia florística californiana
Principales usos del agua	Público-urbano y agricultura
Pueblos originarios	Kumiai
Problemática ambiental	Pérdida de vegetación natural y fragmentación de hábitats; especies amenazadas; contaminación y sedimentación del estuario del río Tijuana; altos niveles de bacterias en la desembocadura del río (coliformes)

Fuente: elaboración propia con información de SDSU (2005); SDSU y El COLEF (2005) y Registro Público de Derechos de Agua (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

instrumentos para aumentar la resiliencia ante el cambio climático. Además, la colaboración binacional podría generar estrategias para el abastecimiento de agua y el uso racional de los recursos hídricos, con el objetivo de enfrentar un probable escenario de escasez de agua en la región.

El contexto actual. ¿Cómo abordar el problema?

Para responder a las preguntas planteadas, se estudió la biodiversidad y los componentes físicos y culturales para contextualizar, en un primer momento, las características generales de la zona de estudio. En una segunda etapa, se recuperó información de estaciones meteorológicas a ambos lados de la frontera, de volúmenes de extracción de agua, de usos de agua subterránea y de la conducción de ésta desde el valle de Mexicali, así como de los principales acuerdos firmados entre México y Estados Unidos para entregas de emergencia a la ciudad de Tijuana. La principal fuente de agua proviene del valle de Mexicali, por lo que se presenta un recorrido histórico sobre el abastecimiento del recurso desde la década de 1960. Por último, se presentan proyecciones de población municipal y de los consumos per cápita para el año 2030, así como de los escenarios ante el cambio climático para la región.

Una vez sistematizada la información, se analizaron los datos de precipitación anual acumulada de las seis estaciones meteorológicas con más años de registros, las cuales están ubicadas de manera estratégica, ya que se encuentran en la parte baja, media y media-alta de la cuenca. También se analizó la información más reciente sobre los tres acuíferos de la cuenca: Tijuana, Tecate y Valle de las Palmas. Con ella, se pudo contextualizar la escasez de agua.

Se analizó la evolución del crecimiento poblacional y urbano dentro de la cuenca, con la intención de saber cuándo se presentaron cambios demográficos que obligaron a buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua. En este sentido, se explica la construcción del Acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT) a mediados de la década de 1980. Una tercera etapa fue la cooperación entre México y Estados Unidos en materia de agua para su distribución en Tijuana. Esto ha sido clave para la ciudad, ya que ha permitido la transferencia de agua de California a Baja California, con lo que se ha podido cubrir parte del abasto en momentos de escasez. Este mecanismo no puede explicarse sólo desde lo local y nacional, sino que también tiene un sustento en los mecanismos de cooperación entre los dos países. Con base en estas cuatro etapas se elaboraron las conclusiones, en las cuales se proponen algunas recomendaciones para enfrentar la escasez hídrica en un contexto de cambio climático.

El contexto de la biodiversidad

La CRT se localiza en la provincia florística de California, identificada por Conservación Internacional¹ como una de las 35 zonas con mayor diversidad biológica del mundo (*hot spots*), debido al gran número de especies endémicas.

¹ Conservation International es una organización ambiental estadounidense sin fines de lucro con sede en Arlington, Virginia.

Comprende hábitats como el matorral costero, el chaparral, el bosque ripario y el bosque de cipreses, donde existen 2 124 especies nativas de un total de 3 488 (Terra Peninsular, 2016). Esta provincia se distribuye por la mayor parte del estado de California y la parte noroeste de la península de Baja California, incluidas las sierras de Juárez, de San Pedro Mártir (BC) y la planicie costera del océano Pacífico (Rzedowski, 2006, p. 108). Esta región se caracteriza por la presencia de especies rosetófilas, capaces de captar niebla y humedad (nebulofitas como *Agave shawii* y *Duddeleya spp.*) (González-Abraham, Garcillán, Ezcurra y Grupo de Trabajo de Ecorregiones, 2010, p. 71).

Las características únicas de la CRT la diferencian de otras regiones que, por su unicidad, deben ser conservadas y protegidas para mantener el equilibrio entre el medio natural y el medio antrópico, en particular con los usos urbanos y agrícolas de riego, como se verá más adelante.

El contexto indígena

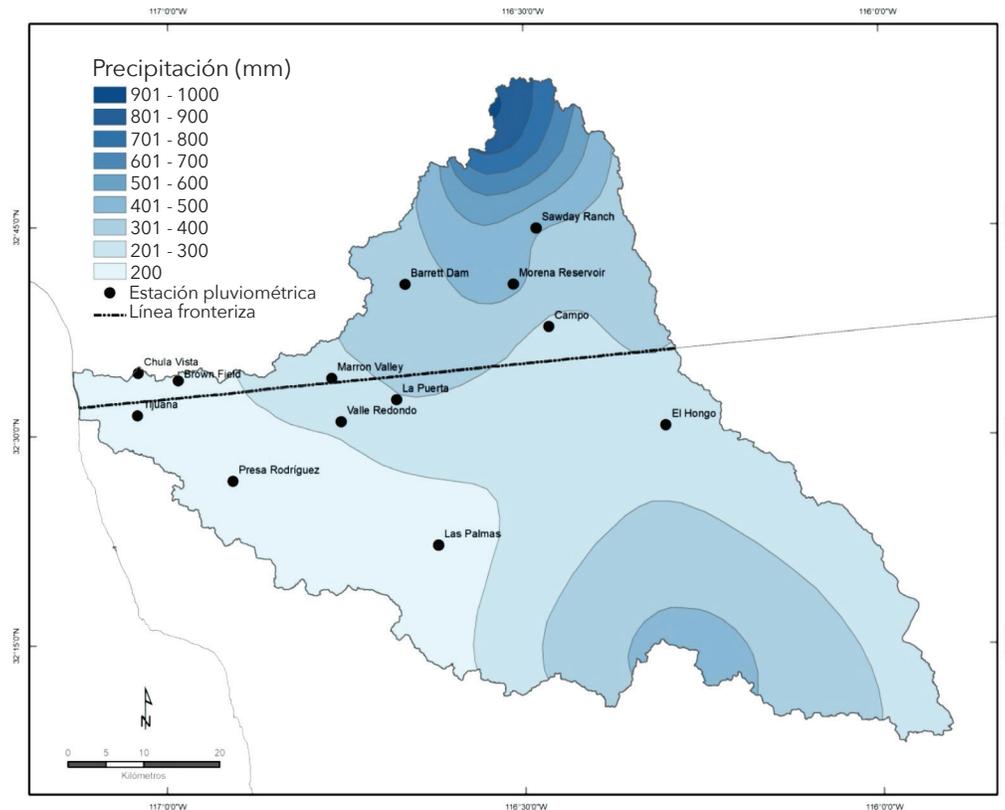
Los grupos originarios han ocupado la CRT desde hace 10 o 12 mil años. Estos grupos dieron origen, hace alrededor de 1 300 años, al grupo kumiai, que en la actualidad habita en México y en Estados Unidos (California y Arizona). El territorio original de los kumiai abarcaba Santo Tomás, al sur de BC, Escondido, el norte de California y el río Colorado en Arizona. Este grupo se caracterizó por ser seminómada, pues se dedicaba a la caza y a la recolección, guiándose por los ciclos anuales, y se trasladaba desde la costa hasta las montañas. En la actualidad, sus descendientes se ubican en las reservas de Campo, La Posta, Manzanita y Cuyapaipe en California. Y en Baja California se asientan en Juntas de Nejí, San José, Tanamá y en Aguaje de la Tuna (Wilkin, 2005, citado en SDSU y El COLEF, 2005, p. 18). En México apenas 117 personas hablan kumiai (Garduño, 2015, p. 174), cantidad similar a la que reside en Estados Unidos.

Los kumiai modificaban el paisaje de la CRT mediante el manejo del suelo, para lo cual empleaban la labranza y uso del fuego. Usaban ramas para cavar, cosechar bulbos, aflojar y airear el suelo, así como para propagar plantas con el fin de mejorar sus cosechas. El uso del fuego les permitió aumentar la reproducción de pastos y mejorar las vías de acceso a sus áreas de cosecha y de forraje de caza (Ojeda y Espejel, 2008, p. 522). En esta parte de la historia de la CRT, los grupos originarios tuvieron un impacto ambiental relativamente bajo, ya que la adaptación al medio natural no implicó transformaciones profundas.

El contexto hidrológico

El régimen de precipitaciones es invernal; es decir, más de 75% de la lluvia se presenta entre diciembre y marzo. En la estación meteorológica (pluviométrica) Presa Rodríguez, en Tijuana, la precipitación promedio anual es de 232 mm para el periodo 1948-2016 (CONAGUA, 2017). En la parte estadounidense, en la estación meteorológica Campo, la precipitación anual promedio es de 372 mm, y de 227 mm en la estación meteorológica Chula Vista, lo que indica la variabilidad de lluvia según la altitud (véase figura 2).

Figura 2. Distribución espacial de la lluvia promedio anual en la CRT

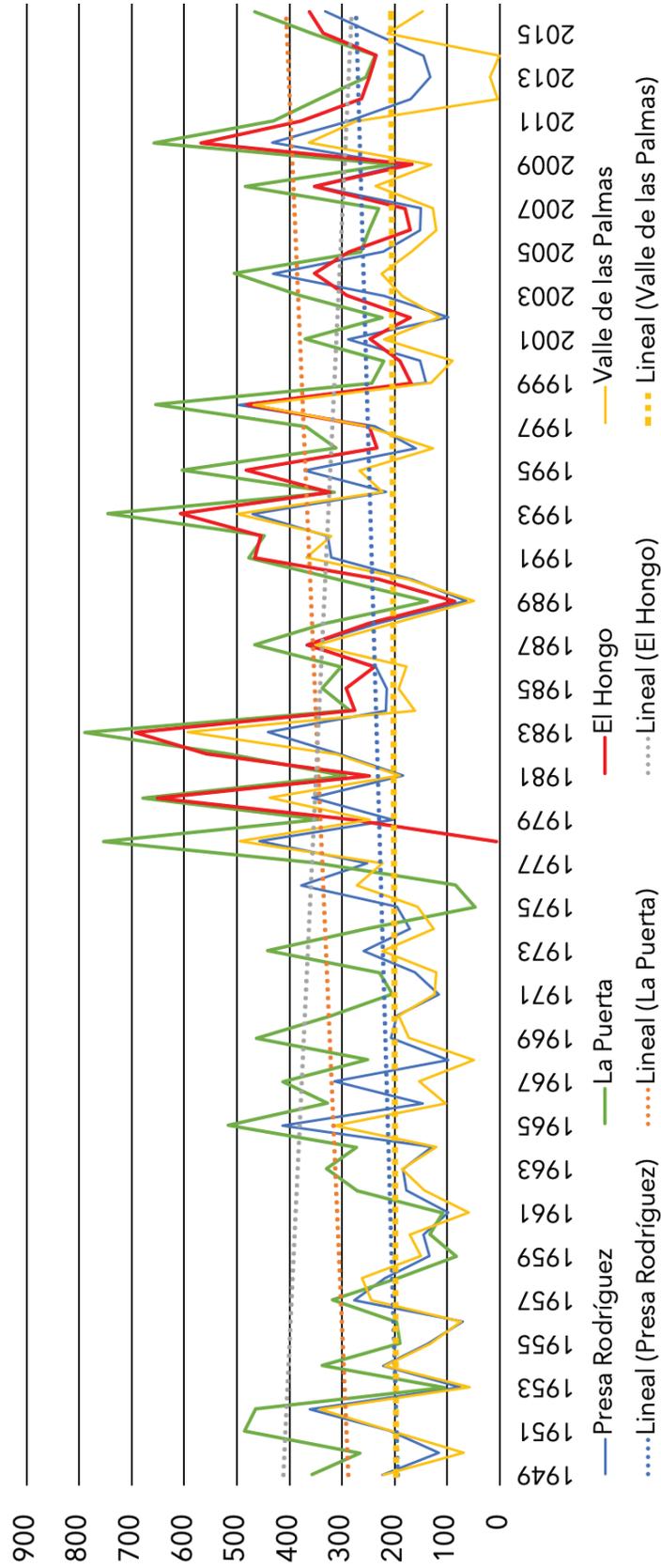


Fuente: tomado de SDSU y El COLEF (2005, ilustración 11).

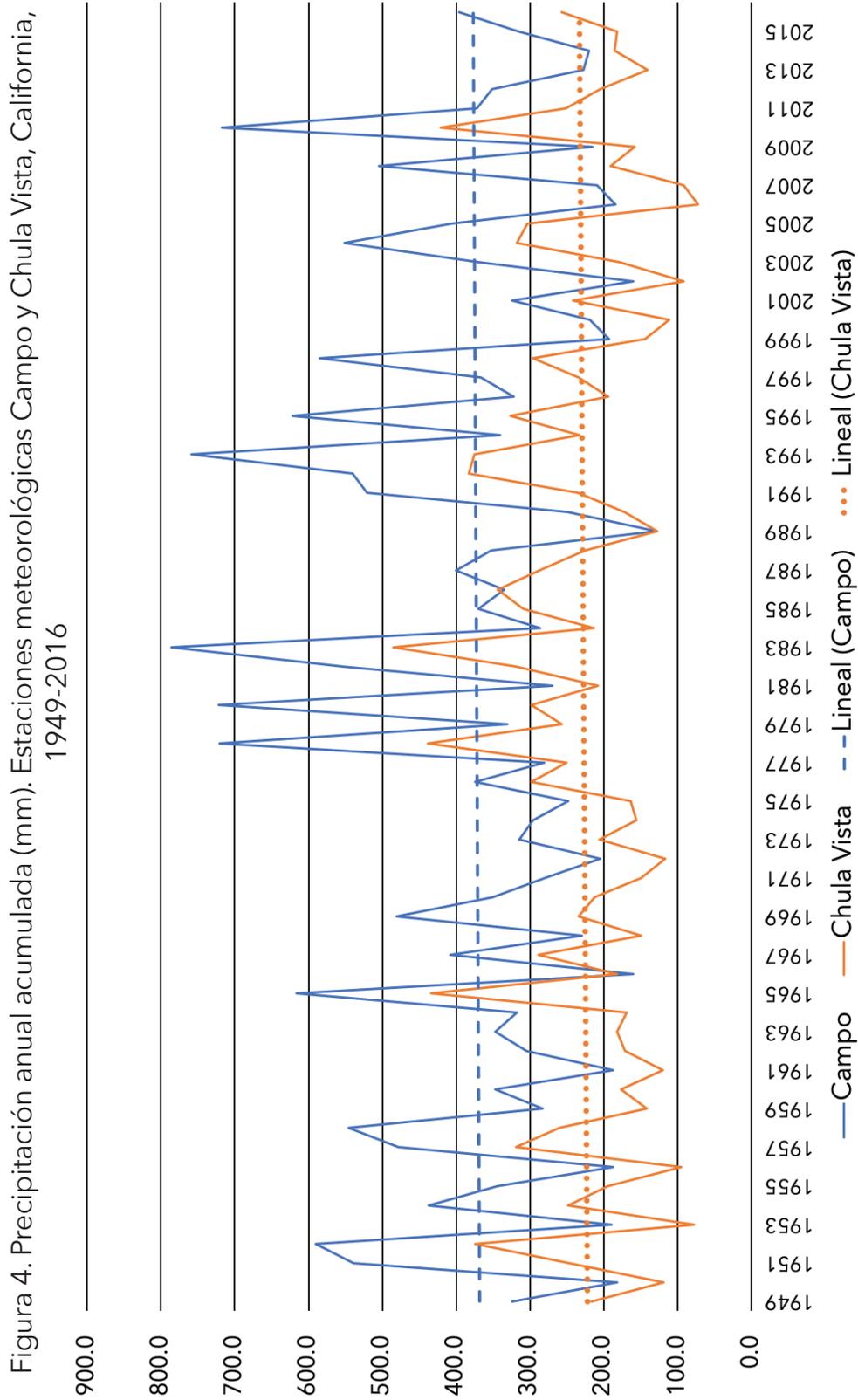
A pesar de que se registran pocas lluvias, existen periodos abundantes que han superado hasta dos veces el promedio anual. En la estación meteorológica Presa Rodríguez (137 msnm), los años 1998, 1993, 1978 y 1983 fueron los más lluviosos, con valores de 495, 470, 456 y 440 mm de precipitación acumulada, respectivamente (CONAGUA, 2017). Estos periodos estuvieron asociados con el fenómeno del Niño-Oscilación del sur, pero es complejo sustentar que existe una relación directa entre años de máximas lluvias durante años niño en la región, debido a la alta variabilidad climática (Cavazos y Rivas, 2004, p. 240; Winckell, Page y Vela, 2004, pp. 69-72).

El comportamiento de los registros de lluvia acumulada presentó una tendencia positiva en todas las estaciones meteorológicas mexicanas, excepto en El Hongo (figura 3, líneas punteadas); es decir, en tres aumentaron las lluvias y en una se redujo. En la de La Puerta, Tecate (480 msnm), se tiene un promedio anual de 347 mm de precipitación, y en la estación meteorológica Valle de las Palmas, Tecate (280 msnm), un promedio de 202 mm anuales. Un comportamiento distinto se observó en la de El Hongo, Tecate (960 msnm), con 327 mm promedio anual, ya que su tendencia es negativa, lo que significa un decremen-

Figura 3. Precipitación anual acumulada (mm). Estaciones meteorológicas Presa Rodríguez, La Puerta, El Hongo y Valle de las Palmas, B. C., 1948-2016



Fuente: elaboración propia con datos de la CONAGUA (2017).



Fuente: elaboración propia con datos de National Centers for Environmental Information (2020).

to en el total de lluvias, pero sólo cuenta con registros para el periodo 1979-2016 (CONAGUA, 2017; Rodríguez, 2019, p. 183). Por su parte, en las estaciones meteorológicas Campo (801 msnm) y Chula Vista (17 msnm), en California (véase figura 4), las tendencias de lluvia acumulada son ligeramente positivas. Los años 1983 y 1993 son los que tienen mayores valores para la primera estación, y 1983 y 1978 para la segunda.

La recarga de los acuíferos de la CRT proviene casi en su totalidad del régimen de lluvias estacionales. En la CRT existen tres acuíferos principales —en los que se asienta más de 95% de la población— que aportan agua para uso público-urbano, agrícola e industrial principalmente (véase tabla 2).² El acuífero Tijuana es el más extenso y el de mayor capacidad. Capta el agua de una gran parte de la red de drenaje a partir de la confluencia del río Tijuana y del arroyo Alamar.³ El acuífero Las Palmas presenta el mayor volumen de explotación de agua subterránea para uso agrícola, ya que abastece una superficie de 168.32 ha, donde se produce aceituna (102.71 ha), pasto de Sudán (34.28 ha) y alfalfa (22.37 ha). Es la zona agrícola más extensa en la cuenca (Secretaría de Fomento Agropecuario, 2015).

Tabla 2. Valores de los principales acuíferos de la cuenca del río Tijuana (millones de m³ anuales)

Acuífero	Recarga total media anual	Descarga natural comprometida	Volumen de extracción de aguas subterráneas	Disponibilidad media anual de agua del subsuelo
Tijuana	19.5	4.6	14.6	0.3
Tecate	14.1	0.0	12.2	1.9
Las Palmas	11.2	0.0	10.3	0.9
Total	44.8	4.6	37.1	3.1

Fuente: elaboración propia con datos de la CONAGUA (2018a, 2018b y 2018c).

Uno de los principales problemas de la CRT es la recarga de sus acuíferos. Además de las escasas lluvias anuales, los acuíferos Tecate y Valle de las Palmas no reportan descarga natural comprometida, aunque reportan disponibilidad media anual de 1.9 y 0.9 hm³, respectivamente. La descarga natural comprometida es un volumen que permite el libre flujo de agua subterránea en la cuenca, lo que garantiza el caudal básico de los ríos y la recarga de los acuíferos. En la actualidad, se tienen registrados 802 títulos para el aprovechamiento de agua subterránea en los tres acuíferos, de los cuales 115 son para uso agrí-

² Los tres mayores acuíferos en la CRT se ubican en el río Tijuana, Tecate y Valle de las Palmas. En la parte estadounidense, el acuífero más extenso se ubica próximo a la desembocadura del río Tijuana, en San Diego, California, el cual no está confinado y posee una capacidad potencial de 80 176 320 m³ (SDSU, 2005, pp. 46-49).

³ De acuerdo con información de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), en 2016, el volumen total de agua para clientes industriales fue de 5 264 743 m³, y las concesiones de agua subterránea para uso industrial ascendieron a 1 344 027 m³, que en total suman 6 608 770 m³ (Martínez, 2017).

cola, 143 para uso pecuario, 119 para uso doméstico y 309 para diferentes usos. La tabla 3 muestra el total de títulos, usos y volumen concesionado en cada uno de los acuíferos.

Tabla 3. Títulos, usos de agua y volumen de extracción en tres acuíferos de BC (al 4 de enero de 2019)

Acuífero (títulos y volumen de extracción en m ³ /año)	Usos							Total
	Público-urbano	Agrícola	Pecuario	Industrial	Servicios	Doméstico	Diferentes usos	
Tijuana	2	19	45	12	31	17	71	197
Volumen que ampara el título	94 113 584	718 548	1 087 966	1 572 427	1 310 271	6 457	802 349	99 611 602
Tecate	10	59	65	6	10	84	124	358
Volumen que ampara el título	4 287 138	2 939 429	539 793	2 044 298	456 263	28 564	1 871 407	12 166 892
Las Palmas	4	77	33	0	1	18	114	247
Volumen que ampara el título	334 275	5 006 755	275 598	0	367 480	3 839	4 207 774	10 195 721

Fuente: elaboración propia con información de la CONAGUA (2019).

El mayor volumen de agua subterránea se destina para uso público-urbano, ya que se extraen 98.7 hm³ anuales. Es en Tijuana donde se usa más el recurso. Un dato que se debe considerar es que, de extraerse toda el agua subterránea amparada en los títulos (121.9 hm³), se estaría sobreexplotando en 63% la recarga total media de los tres acuíferos (44.8 hm³).

El contexto poblacional-urbano

La CRT recibe importantes flujos migratorios. Debido a que 73% de la superficie de la cuenca se ubica en México, también concentra un mayor número de población en Tijuana y Tecate. La tabla 4 presenta el número de población según estado, municipio o condado e indica que 96% de los habitantes de la cuenca se ubica en el lado mexicano.

Las proyecciones demográficas de la población mexicana indican que se conservarán las tasas de crecimiento entre 2020 y 2030 (véase figura 5). De cumplirse estas proyecciones, en 2030 la población de la cuenca alcanzará 2 140 363 habitantes, los cuales requerirán mayores volúmenes de agua, que equivaldrán a 363 861 710 litros al día (0.37 hm³ al día o 135.1 hm³ al año), los cuales se tendrán que cubrir con aguas subterráneas y superficiales.⁴

⁴ Durante 2019, la dotación per cápita de agua en Tijuana, según la CESPT, fue de 170.7 l/hab/día (CESPT, 2019).

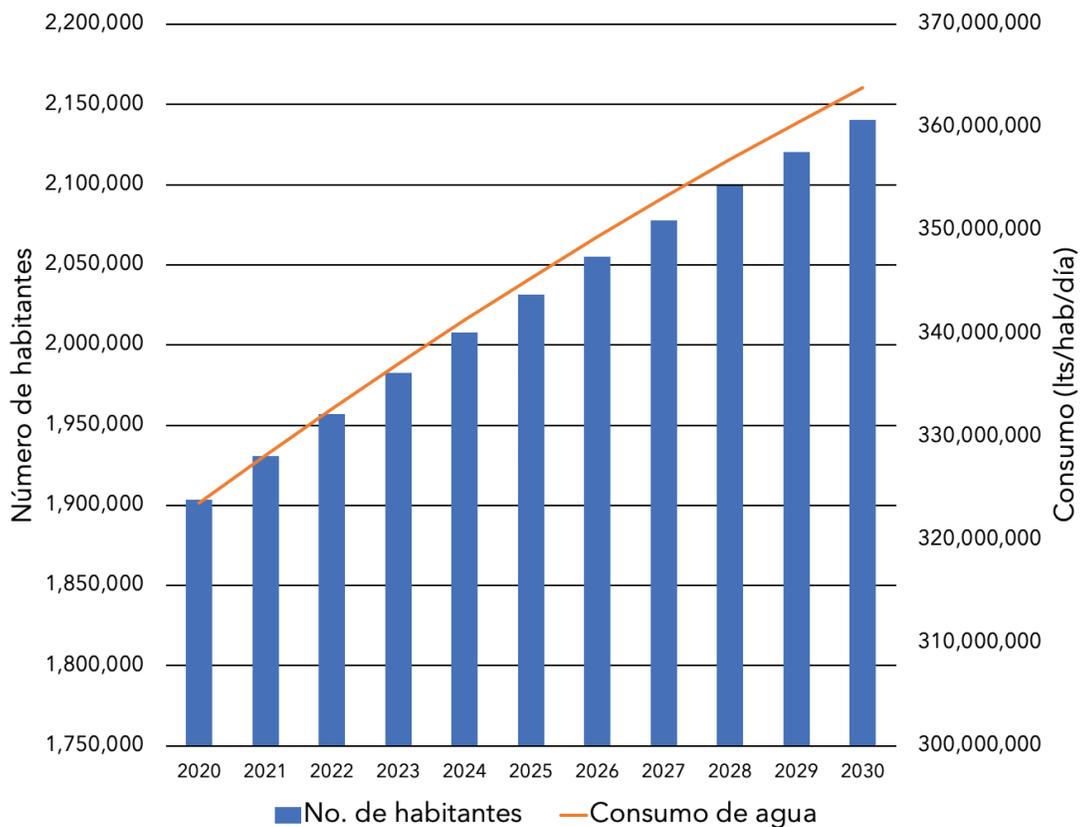
Tabla 4. Población total de la cuenca del río Tijuana, 2010

Estado	Municipio	Población urbana	Población rural	Total
Baja California	Tijuana	1 439 626	17 233	1 456 859
	Tecate	80 077	15 195	95 272
	Ensenada	0	29	29
Subtotal		1 519 703	32 457	1 552 160
California	San Diego*	57 016	2 430	59 446
Subtotal		57 016	2 430	59 446
Total		1 576 719	34 887	1 611 606

* Solo incluye las comunidades de Pine Valley, Campo, Mount Laguna, Potrero, Tecate y las ciudades de Imperial Beach y San Ysidro.

Fuente: INEGI, Censos de Población y Vivienda (2010), U. S. Census Bureau (2010) y Rodríguez (2019, p. 184).

Figura 5. Proyecciones de población municipal y consumo de agua per cápita al día en la cuenca del río Tijuana



Fuente: elaboración propia con datos del CONAPO (2015) y de Rodríguez (2019, p. 185).

El crecimiento poblacional se puede observar mejor en cada centro urbano. En 1990 el área urbana, en el lado estadounidense, cubrió 26.3 km² y llegó a 54.4 km² en 2015 (1.2% de la superficie de la cuenca). En el lado mexicano, las zonas urbanas ocuparon 190.7 km² en 1990, y en 2015 cubrieron 314.8 km², lo que representa una mayor presión para el abastecimiento de agua. De esta forma, las áreas urbanas a ambos lados de la frontera llegaron a ocupar 369.2 km² en 2015, lo cual representa una ocupación de 8.3% de la cuenca (véase tabla 5).

Tabla 5. Crecimiento del área urbana de la cuenca del río Tijuana

Ciudad	Zona	Área (km ²)					Porcentaje de la cuenca		Km ² promedio añadidos por año		
		1990	2000	2010	2015	2015%	1990	2015	Década de 1990	Década de 2000	Década de 2010
San Diego	Urbana	26.3	27.9	49	54.4	14.7	0.6	1.2	0.2	2.1	1.1
Tijuana	Urbana	178	215.2	244.4	263.8	71.5	4	5.9	3.7	2.9	3.9
	Urbana fuera de la cuenca	12.3	20.1	27.5	42.5	11.5	0.3	1	0.8	0.7	3
Tecate	Urbanas (*)	12.7	17.7	31	51	13.8	0.3	1.1	0.5	1.3	4
Total en cuenca		217	260.9	324.5	369.1	100	4.9	8.3	4.4	6.4	8.9

* Incluye la ciudad de Tecate y el resto de localidades del municipio de Tecate.

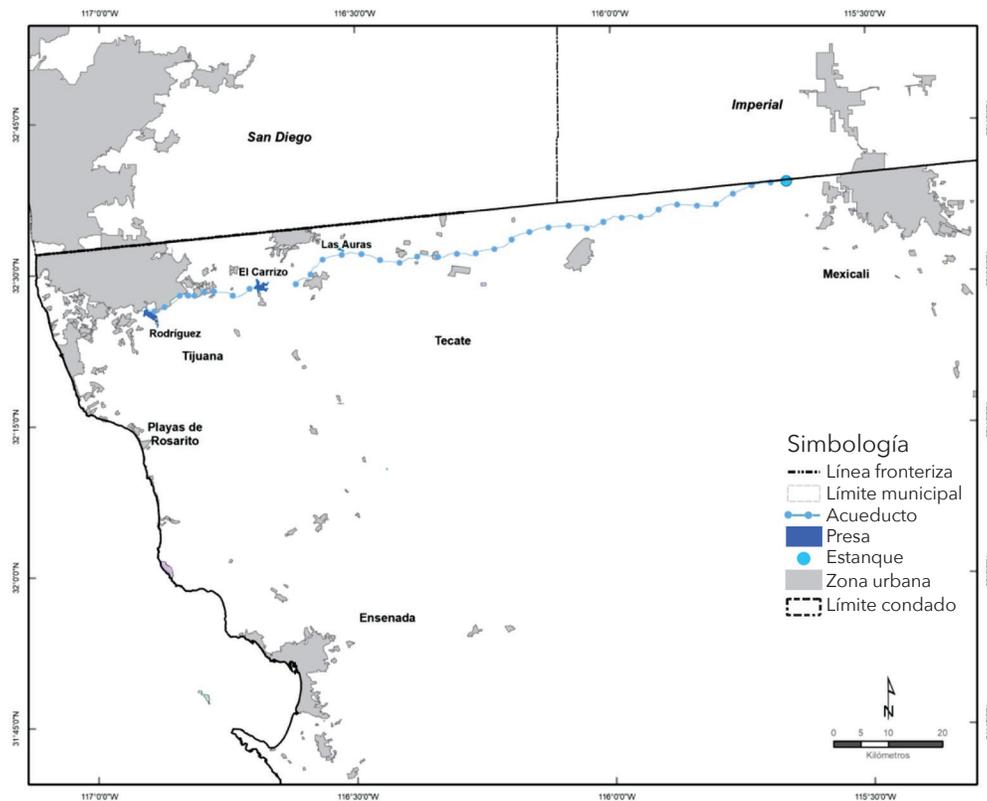
Fuente: tomado de *Alegría* (2018, p. 159) y citado en *Rodríguez* (2019, p. 185).

Por lo que respecta al crecimiento anual, en la década de 2010 se promedió un crecimiento urbano de 1.1 km² en los asentamientos estadounidenses. En la parte que corresponde a Tijuana se registró un promedio de 3.9 km², proporción superior a la de las zonas urbanas fuera de la CRT, que fue de 3 km² (*Alegría*, 2018, p. 146). Esto demuestra la intensidad del crecimiento urbano en Tijuana, el cual se observa hacia la periferia sur y oriente de la ciudad, lo que puede limitar la recarga natural del acuífero en esas zonas si se cubren con viviendas y pavimentos. Para el caso del municipio de Tecate, el promedio de crecimiento de la zona urbana llegó a 4 km² en la misma década, comportamiento que se explica por la cercanía entre ambas ciudades.

Abastecimiento de agua

Las necesidades de agua para la población en el lado mexicano de la CRT habían sido cubiertas durante la primera mitad del siglo XX por fuentes locales: la presa Rodríguez y los pozos de los acuíferos. Las fuentes permanentes de agua a inicios del siglo XX fueron los pozos sobre las riberas de los ríos Tijuana, Tecate y Valle de las Palmas debido a que las lluvias que dan origen a escurrimientos superficiales son relativamente escasas, por lo que el recurso disponible se encontraba en los tres acuíferos ya mencionados.

Figura 6. Trayecto del ARCT



Fuente: USEG y El COLEF (2020), con datos de la CEA (2020). Recuperado de <http://www.cea.gob.mx/pages/arct/localizacion.html>

En 1927 el gobierno de Baja California ordenó la realización de estudios técnicos e hidrológicos para evaluar la disponibilidad de agua en los acuíferos Tijuana, Alamar y Tecate, además de la viabilidad de construir presas de almacenamiento. Los estudios concluyeron que era necesaria la construcción de la presa Abelardo L. Rodríguez y de la presa Cancio sobre el cauce del río Valle de las Palmas, además de la presa Marrón sobre el cauce del río Alamar (CESPT, 2006, p. 17).

De las propuestas originales, sólo se llegó a concretar la presa Rodríguez, para captar los caudales del arroyo Las Palmas (véase figura 1). Su construcción inició en 1928 y terminó en 1937, con capacidad del NAME de 138 hm³, de NAMO de 92.37 hm³ y de NAMO útil de 90.33 hm³ (CEA, 2016a; CESPT, 2006).⁵ En el lado estadounidense ya se habían realizado obras de captación a inicios del siglo XX, por ejemplo el lago Barrett (1923), con una capacidad de 46.8 hm³, y la presa Morena (1912), con 62.9 hm³. Ambas obras almacenan agua que

⁵ NAME: nivel de las aguas máximas extraordinarias. NAMO: nivel de las aguas máximas ordinarias (CEA, 2016a).

se desvía hacia el norte por el acueducto Dulzura para abastecer la ciudad de San Diego, California (SDSU, 2005, p. 41-42; Wright, 2005, citado en SDSU y El COLEF, 2005, p. 13).

Los centros urbanos mexicanos siguieron creciendo, y con ello los volúmenes de agua para su población. El primer proyecto de trasvase para abastecer Tijuana fue el acuífero La Misión. La obra fue proyectada ante la sequía registrada en la primera mitad de la década de 1960 y los bajos niveles de agua de la presa Rodríguez. El acueducto tuvo una capacidad máxima de 250 lps a través de 69.7 km desde el municipio de Ensenada, al sur. Otra fuente de suministro fue el agua desalada, volumen comprado a la Comisión Federal de Electricidad proveniente de su planta en Rosarito, BC, la cual proporcionó un gasto de 283 lps (CESPT, 2006, pp. 21-22).

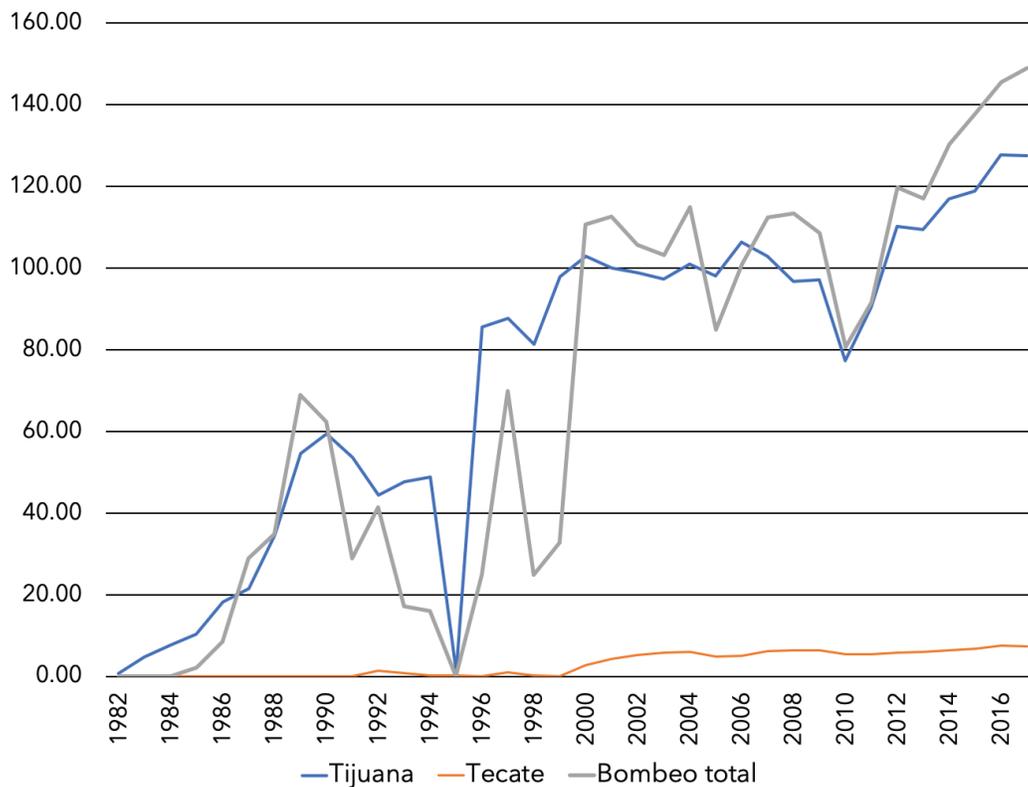
La obra que representó una fuente más confiable de agua fue el acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT). Su construcción inició en 1975 para abastecer a Tecate, Tijuana y Playas de Rosarito. El ARCT entró en operaciones en 1985, con un trayecto de 125 km desde el valle de Mexicali, bombeando sus caudales a una altura de 1 060 m en el tramo sierra La Rumorosa y con una capacidad inicial de 4 000 lps, caudal que fue aumentado hasta alcanzar 5 333 lps en 2011. El agua conducida por el ARCT tiene dos derivaciones, una hacia la presa Las Auras (5 hm³), que abastece a Tecate, y la otra hacia la presa El Carrizo (43.5 hm³), que abastece Tijuana y Playas de Rosarito (CEA, 2016b). La figura 6 muestra el trayecto del ARCT.

La construcción del ARCT favoreció el crecimiento urbano y poblacional de Tijuana y Tecate al aumentar la superficie urbana en 49.4 km² durante la década de 1990. El aumento en la disponibilidad de agua cubrió las necesidades de la población y también evitó la dependencia de los volúmenes irregulares en la presa Rodríguez, que sólo se ha llenado en años de máximas lluvias: 1978, 1983, 1993 y 1998 (véase figura 3). La figura 7 presenta la evolución de los volúmenes bombeados y entregados a través del ARCT.

Los volúmenes bombeados y entregados a través del ARCT han ido en aumento, lo que significa una creciente demanda hídrica. Las diferencias entre el volumen bombeado y los entregados están asociados con la disponibilidad de agua en las presas El Carrizo y Las Auras, además de los acuíferos; es decir, a mayor almacenamiento, menores volúmenes entregados. La evolución de estos volúmenes también indica los periodos en que se registraron lluvias acumuladas anuales superiores al promedio (232 mm), lo que pudo significar una mayor disponibilidad de agua localmente y, por lo tanto, menor demanda de agua del acueducto. Así fueron los años 1993, 1998, 2004 y 2010, todos ellos por arriba de los 400 mm anuales. Respecto a 2010, la reducción del volumen bombeado puede estar relacionada con las obras de ampliación del acueducto, inauguradas en 2011.

De continuar el aumento del volumen total bombeado a través del ARCT, que en 2017 llegó a 148.9 Hm³ (CEA, 2019), en los próximos años se estaría alcanzando el máximo de su capacidad, la cual es de 168.2 hm³ si operara las 24 horas. Respecto a la eficiencia en la conducción del agua, la diferencia entre el volumen total bombeado y el volumen total entregado fue de 14.1 hm³ durante

Figura 7. Volúmenes anuales bombeados y entregados a través del ARCT (hm³)



Fuente: elaboración propia con datos de la CEA (2019).

2017, lo que representó 9.5% de pérdidas en la conducción. Esto pondría mayor presión si se asocia con el aumento poblacional ya que, como indica CONAPO (2015, p. 73), de continuar en la cuenca la tendencia de crecimiento de población, ésta alcanzaría 1 903 388 en 2020, 2 031 733 en 2025 y 2 140 363 en 2030.

Por lo que respecta al abastecimiento de agua para centros urbanos en el lado estadounidense, hasta 1991 la región de San Diego, CA. dependía en 95% del agua enviada por The Metropolitan Water District of Southern California (TMWDSC), que se abastecía de dos cuencas principales, la de los ríos Sacramento y San Joaquín, desde el norte, y del río Colorado desde el este (TMWDSC, 2020). Ese año se presentó una sequía que redujo el volumen en 30%, por lo que San Diego County Water Authority (SDCWA) diseñó una estrategia para diversificar sus fuentes de suministro locales y regionales que en la actualidad dependen del TMWDSC en 45%. Los suministros locales de agua para San Diego están proyectados a cubrir 36% de la demanda (pero no todos están ubicados dentro de la CRT), ya que el mayor suministro de agua proviene del Distrito de Riego

de Imperial (río Colorado), que en 2003 inició el trasvase de 86.3 hm³ anuales. Se proyecta llegar hasta 246.7 hm³ en 2021 (SDCWA, 2020).⁶

Un elemento que hay que destacar en el tema de seguridad hídrica en la CRT son los derechos sobre el agua.⁷ De acuerdo con datos de la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA, 2016a), las ciudades abastecidas desde el ARCT no cuentan con derechos para aprovechar agua del río Colorado, porque sus asignaciones provienen de Mesa Arenosa, pueblo ubicado en el municipio de San Luis Río Colorado, Sonora.⁸ Para el caso de Tecate, se cuenta con derechos por un volumen de 3.36 hm³. Y Tijuana posee sobre 80 hm³. Sin embargo, estos volúmenes no son suficientes para cubrir la demanda de cada ciudad, por lo que existe una proporción de agua que carece de derechos propios por 60% y 43%, respectivamente, ya que son bombeados 7.62 hm³ para Tecate y 125.7 hm³ para Tijuana. Los porcentajes de agua que carecen de derechos propios se deben a que en los últimos años el agua asignada de Mesa Arenosa ha sido insuficiente, por lo que se ha requerido la negociación anual de derechos con el Distrito de Riego 014, en el valle de Mexicali, al mismo tiempo que la ciudad de Mexicali ha permitido que parte del volumen que le corresponde de este acuífero, sea enviado al ARCT (CEA, 2016a, p. 72).

En la actualidad, el agua entregada por el ARCT a Tijuana cubre casi 100% de las necesidades de la ciudad, lo cual no ha evitado que en ocasiones se requieran aportaciones de emergencia proporcionadas por otra vía. El Tratado de Aguas de 1944, firmado entre los gobiernos de México y Estados Unidos, acordó una asignación a México de 1 850 234 000 m³ anuales de agua del río Colorado.⁹ Con estos volúmenes, se pudo desarrollar a gran escala la agricultura en el valle de Mexicali. También se pudo lograr el suministro para uso urbano de sus asentamientos humanos. La ciudad de Tijuana, a pesar de no contar con asignaciones de estas aguas, ha sido usuaria de parte de dichos volúmenes.

A partir del Acta 240 (13 de junio de 1972), firmada entre ambos países a través de sus representantes de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), se logró acceder al volumen asignado a México de las aguas del río Colorado para uso en Tijuana. La tabla 6 presenta un resumen de las actas relacionadas con entregas de emergencia a la ciudad de Tijuana (de Estados Unidos a México) en un punto de la línea divisoria internacional próximo al aeropuerto de Tijuana.

La información de la tabla 6 muestra cuatro situaciones. Primero, los recurrentes periodos de escasez parcial para el abastecimiento de agua en Tijuana, lo cual ponía en evidencia que las obras para el trasvase de agua, a partir

⁶ Otra fuente de suministro es el agua reciclada, de la cual en San Diego llega a producirse 30.8 hm³ anuales. Se pretende llegar hasta 49.3 hm³ en 2020 (SDCWA, 2020).

⁷ La seguridad hídrica se refiere a la "disponibilidad de agua, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción" (Peña, 2016, p. 14).

⁸ Los volúmenes de agua subterránea de esta zona son vertidos a los canales del Distrito de Riego 014, Valle de Mexicali, y entregados en la planta de bombeo 0 del ARCT a través del canal Reforma (CEA, 2016a, p. 72).

⁹ Tratado entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos de América sobre la distribución de las aguas internacionales de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo, desde Fort Quitman, Texas, hasta el golfo de México, 14 de noviembre de 1944.

Tabla 6. Resoluciones acordadas entre México y Estados Unidos referentes a entregas de emergencia de agua del río Colorado

Acta	Fecha	Resolución	Fundamentos
240	13/06/72	EE. UU. proveería durante un periodo no mayor a cinco años entregas de emergencia a México	Los volúmenes mensuales no excederán los 814 000 m ³ hasta antes del 1 de enero de 1973. Después los volúmenes anuales no serán mayores a 17 886 000 m ³ .
245	15/05/74	Modificaciones al Acta 240	Debido a la escasez de energía eléctrica en el sur de California, México traspasará 24 200 kWh anuales.
256	22/02/77	Prórroga de las Actas 240, 243, 245 y 252	Debido a los avances en la construcción del ARCT, las entregas de emergencia se deben prorrogar hasta agosto de 1978.
259	27/07/78	Prórroga de la vigencia del Acta 256	La vigencia del Acta 256 se prorroga hasta agosto de 1979. Y que México prosiga de manera activa la construcción de su ARCT.
260	11/08/79	Prórroga de la vigencia del Acta 259	La terminación del ARCT demorará hasta 1981. La terminación del acuerdo será el 14 de agosto de 1980.
263	06/08/80	Prórroga de la vigencia del Acta 260	La terminación del ARCT demorará hasta finales de 1981. Será necesario continuar con estas entregas hasta el 14 de agosto de 1980.
266	03/08/81	Prórroga de la vigencia del Acta 263	La operación del ARCT será hasta finales de 1982, por lo que se solicitó que la vigencia del Acta 263 se prorrogue hasta el 14 de agosto de 1982.
267	13/08/82	Prórroga de la vigencia del Acta 266	Se espera que la operación del ARCT no esté lista antes de 1983. La vigencia del Acta 266 debe prorrogarse hasta el 14 de agosto de 1983.
287	06/10/92	Entrega por EE. UU. a México de entre 150 y 200 millares de m ³ .	Suspensión de agua en Tijuana por obras necesarias en el tramo del acueducto entre la Presa El Carrizo y la planta de tratamiento de El Florido del 7 al 10 de octubre de 1992.
310	28/07/03	Entregas de emergencia de aguas del río Colorado para su uso en Tijuana, BC.	Bajos niveles de las reservas para Tijuana, problemas en la red de distribución, se pronostican periodos de escasez parcial en los próximos cinco años. La vigencia de este acuerdo será en noviembre de 2008.
314	14/11/08	Ampliación de las entregas temporales de emergencia de aguas del río Colorado para su uso en Tijuana, BC.	Se conceden cinco años por retrasos involuntarios en la ejecución de la obra de ampliación del ARCT. La vigencia del acuerdo fue del 11 de noviembre de 2008 al 9 de noviembre de 2013.
322	19/01/17	Ampliación de las entregas temporales de emergencia de aguas del río Colorado para su uso en Tijuana, BC.	La CEABC y la CESPT solicitaron la ampliación por cinco años más de la entrega de emergencia a Tijuana. Las últimas entregas a realizarse deberán concluir el 19 de enero de 2022.

Fuente: elaboración propia con datos de la CILA (2019a).

del acueducto La Misión-Tijuana, no habían solucionado el problema. Segundo, algunos retrasos en la construcción del ARCT a partir de las intensas lluvias registradas en 1978 y 1980 y a problemas geológicos (véase Acta 259). Tercero, algunas actas se fundamentaban en problemas de la red de distribución de la ciudad, por lo que era necesario contar con volúmenes extras para cubrir estas deficiencias (véase actas 287 y 310). Por último, la ampliación del ARCT a principios de la década de 2010 obligó al gobierno mexicano a solicitar una prórroga del acuerdo por cinco años más, previendo situaciones de desabasto o de emergencia (véase Acta 314).

Debido al bajo nivel del agua almacenada en la presa El Carrizo, principal fuente de abastecimiento para Tijuana y Rosarito, a finales de 2019 autoridades del organismo operador del agua implementaron medidas emergentes para su ahorro. El 5 de noviembre el titular de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) informó la puesta en marcha del Programa de Racionamiento de Agua Potable en Tijuana y Rosarito, que consistió en cortes programados en el suministro de agua. Con estas acciones, una colonia contaría con el servicio de agua potable sólo durante cuatro días consecutivos. Esto se haría a partir del 12 de noviembre de 2019 (Laborín, 2019).

El Programa de Racionamiento de Agua pretendía que 80% de las colonias contaran con agua, mientras que 20% no la tuviera durante un periodo de 24 horas. Esta medida se aplicó con el fin de garantizar el abastecimiento durante el verano de 2020. El programa fue suspendido de manera temporal el 25 de noviembre de 2019, debido a la reactivación del bombeo las 24 horas en el ARCT que no se había realizado durante los dos años previos por falta de mantenimiento en el sistema de bombeo. Con esta medida, la presa El Carrizo llegó a 38% de su almacenamiento a finales de mes (Bonilla, 2019).

Otro elemento que hay que destacar sobre el problema de abastecimiento de agua en las zonas urbanas de la CRT, no sólo está en función de los niveles de almacenamiento de la presa El Carrizo. Los volúmenes de agua no contabilizada, respecto a la captación total para 2017, 2018 y 2019, fueron de 18.2%, 18.5% y 17.7%, respectivamente, para Tijuana-Rosarito.¹⁰ Esta proporción de agua se debe a los volúmenes que se pierden por fugas en la red de distribución y usos no autorizados. A pesar de ello, el organismo operador informó que la ciudad tiene una cobertura superior a 98% (CESPT, 2019). La pérdida de agua, cercana a 20%, podría tomar mayor relevancia si los escenarios del cambio climático reducen la disponibilidad de agua, ya sea en la CRT o en la cuenca del río Colorado.

Escenarios de cambio climático

El abastecimiento de agua para los asentamientos urbanos y para la agricultura de riego en la CRT podrá enfrentar nuevos retos si los escenarios del cambio climático se cumplen en los próximos años. Para el caso de México, el Instituto

¹⁰ La proporción de agua no contabilizada se obtiene de la diferencia entre el agua potabilizada y el agua facturada.

Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desarrolló el índice de vulnerabilidad social municipal, considerando indicadores de salud, educación, vivienda, empleo, ingreso y población. De esta forma, Tijuana y Tecate poseen un índice de vulnerabilidad social muy bajo, lo que significa mejores condiciones sociales que otros municipios del país para enfrentar los eventos hidrometeorológicos extremos, como lluvias intensas y sequías (IMTA, 2015, p. 19; Rodríguez, 2019, p. 186).

Existe la vulnerabilidad hídrica global para aguas superficiales. Para el cálculo de ésta, se incluyó la sensibilidad (población al 2030, producto interno bruto y agricultura), la exposición (sequías y brecha-oferta hídrica) y la capacidad de adaptación (sobrexplotación de acuíferos). Con base en este estudio, la CRT fue clasificada de muy baja a baja vulnerabilidad (IMTA, 2015, p. 97; Rodríguez, 2019, p. 186).

Los escenarios ante el cambio climático, en específico para el componente de precipitación y temperatura, indican que la CRT podrá enfrentar una reducción de entre 3 y 9% de lluvia durante el periodo primavera-verano, y de entre 10 y 25% durante el de otoño-invierno, en el periodo 2015-2038 (IMTA, 2015), a pesar del incremento registrado en las estaciones climatológicas mexicanas hasta el 2016 (véase figura 3). El periodo de otoño-invierno es importante para la CRT, ya que las lluvias se registran precisamente durante él, por lo cual el volumen de éstas podría reducirse de manera significativa. Por lo que respecta a las temperaturas máximas, las variaciones oscilan entre 1.0°C a 1.2°C y entre 1.2°C y 1.4°C en los periodos primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente, en el periodo 2015-2039 (véase tabla 7). En el periodo 2075-2099 las variaciones de temperaturas máximas serán más amplias debido a que éste es más largo. En este sentido, aumenta de modo significativo la incertidumbre de las condiciones del clima para ese periodo.

Tabla 7. Escenarios de cambio climático en la CRT

Variable	2015-2039		2075-2099	
	Primavera-verano	Otoño-invierno	Primavera-verano	Otoño-invierno
Proyección de cambio de precipitación (%)	-3 a -9	-10 a -25	-6 a -9	-10 a -15
Proyección de cambio de temperatura máxima (°C)	1.0 a 1.2	1.2 a 1.4	3.0 a 3.8	2.6 a 4.2
Proyección de cambio de temperatura mínima (°C)	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4	2.6 a 4.2	3.0 a 5.0

Fuente: elaboración propia con datos del IMTA (2015) y de Rodríguez (2019, p. 186).

Los escenarios ante el cambio climático en la CRT demuestran la alta variabilidad tanto de la precipitación como de las temperaturas. No es extraño en esta región registrar años con pocas precipitaciones y altas temperaturas. Sin

embargo, se requiere tomar con cuidado estos escenarios, ya que en la tabla 7 se presentan valores promedio, por lo que se podrían registrar eventos más intensos en años específicos.

Das, Dettinger y Cayan (2010), quienes aplicaron un modelo para el análisis de la sensibilidad en la CRT ante el cambio climático global, sugieren que la reducción de la escorrentía se presentará cuando la precipitación disminuya o cuando se incrementen las temperaturas. De esta forma, una reducción de 10% de la precipitación podría conducir a una reducción de 20% de la escorrentía en promedio. Por su parte, el aumento de 1°C de la temperatura media podría causar más o menos 3% de reducción de la escorrentía (p. 17). Por lo tanto, de presentarse una escorrentía natural promedio de 100 hm³ por año (SEMARNAT, 2018, p. 45) en un escenario de cambio climático, sólo se registrarían 80 hm³ debido a la reducción de las lluvias a 208.8 mm, situación que comprometería la disponibilidad de agua en la cuenca.

El índice de vulnerabilidad social ante los efectos del cambio climático (IMTA, 2015) si bien presenta un diagnóstico nacional necesario para la planeación futura de los recursos hídricos, también presenta limitaciones para la toma de decisiones a escala local. Dicho índice no incluye información particular para cada municipio ni por cuenca, debido a que esa información no está registrada en fuentes estadísticas nacionales. Por lo tanto, es necesario contar con información a escala local para complementar el índice. Para ello, se presentan a continuación algunos instrumentos para enfrentar los efectos del cambio climático en la CRT.

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (SPA, 2012) ofrece recomendaciones para enfrentar los efectos asociados con el cambio climático en el estado. El documento presenta diagnósticos y propuestas en temas como gases de efecto invernadero, escenarios climáticos, recursos hídricos, biodiversidad, energía, asentamientos humanos, agricultura, ganadería y salud, entre otros. Además, incluye acciones de mitigación, adaptación y de política pública. Sin embargo, no se encontró evidencia de su aplicación.

Por su parte, el Programa Sectorial de Resiliencia Urbana para Tijuana, B.C. 2019-2024 (SEDATU e Instituto Metropolitano de Planeación [IMPLAN], 2018) representa una estrategia a escala local. El instrumento contiene acciones dirigidas a la organización, escenarios de riesgo, capacidad financiera, desarrollo urbano, capacidad institucional, infraestructura, respuesta, recuperación y transversalidad. Estos ejes están orientados a reducir y mitigar los efectos de los fenómenos perturbadores y el cambio climático con perspectiva de género y diversidad cultural, bajo los lineamientos del Marco de Sendai.¹¹ De igual modo, no se encontró evidencia de su aplicación y seguimiento, por lo que existe una brecha importante entre la elaboración de instrumentos de planeación y su implementación, lo cual contrarresta las estrategias planteadas en ambos instrumentos.

¹¹ El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030) es el instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo (2005-2015), creado para dar respuesta a los preceptos del Marco Internacional de Acción del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales de 1989 (Naciones Unidas, 2015).

Colaboración binacional

El manejo del agua en la CRT implica los intereses de diversos actores (urbano, agrícola y ambiental, entre otros) y de dos países. Las diferencias en el manejo del agua entre Estados Unidos y México tienen importantes implicaciones, debido a sus diferentes capacidades técnicas y financieras para asegurar las necesidades de abastecimiento a sus habitantes (Brown, Castro, Lowery y Wright, 2003, p. 280). Ambas ciudades, San Diego y Tijuana, dependen del agua importada. La condición de cuenca transfronteriza implica la colaboración binacional, para lo cual existen diversos acuerdos a los que han llegado las secciones mexicana y estadounidense de la CILA, dependientes de la Secretaría de Relaciones Exteriores y del Departamento de Estado, respectivamente (Rodríguez, 2019, p. 187).

Las resoluciones a las que han llegado ambas partes, en particular sobre el agua en la CRT, están comprendidas desde el Acta 182, titulada “Aprobación del informe sobre la conferencia mixta de ingeniería, acerca de estudios, investigaciones y procedimientos para proyectar las obras que se construirán de acuerdo con el Tratado de Aguas de 1944” (23 de septiembre de 1946), hasta el Acta 320, titulada “Marco general para la cooperación binacional en los asuntos transfronterizos de la cuenca del río Tijuana” (5 de octubre de 2015) (CILA, 2019). Estos dos acuerdos, y los que están asociados con ellos, son el marco de colaboración entre los gobiernos de ambos países, de la sociedad civil organizada a ambos lados de la frontera, de expertos y otros actores, lo cual busca alcanzar que el manejo del agua de la cuenca mantenga las condiciones de cantidad, calidad y saneamiento (Rodríguez, 2019, p. 187).

El Acta 320 fue el resultado de los esfuerzos de diversos grupos sociales y gubernamentales para formalizar la cooperación que posibilita la colaboración y atender la problemática ambiental, en particular el control de sedimentos, manejo y disposición de residuos sólidos y la calidad del agua de la CRT. Para obtener las recomendaciones de los grupos de interés sobre los asuntos transfronterizos e identificar las medidas que requieran acciones de cooperación, se estableció un grupo base binacional (GGB) que está conformado por representantes de la CILA, autoridades federales, estatales y locales, además de organizaciones no gubernamentales de ambos países.

La primera sesión pública del GGB se llevó a cabo en la ciudad de Tijuana el 28 de enero de 2020, entre cuyos resultados destaca la participación de la CILA en el tratamiento de aguas residuales producidas en Tijuana para evitar la contaminación en territorio estadounidense, lo que representa una oportunidad para mejorar la coordinación entre autoridades, según declaró el comisionado mexicano de la CILA (Salmón, 2020).

Por otro lado, se han elaborado instrumentos con un enfoque transfronterizo para buscar soluciones a los problemas ambientales de la CRT. Desde una perspectiva multinstitucional, se elaboró *A Binational Vision for Tijuana River Watershed* (SDSU, 2005). Este documento fue elaborado a partir de datos básicos y tendencias sobre el manejo de los recursos naturales de la CRT. Está dedicado en específico a los recursos hídricos, con un enfoque de sustentabilidad

ambiental, social y económica. A pesar de que el tema del cambio climático no está del todo incluido, el documento sí incluye criterios para la conservación de los recursos, el manejo sustentable del agua y la cooperación entre ambos países (Rodríguez, 2019, p. 187).

De igual modo, el Programa para el Manejo Integral del Agua en la Cuenca del Río Tijuana (PMIACRT) es un esfuerzo de la sociedad civil y de los gobiernos para materializar soluciones con enfoque transfronterizo y a largo plazo a los problemas del agua. En su elaboración, intervinieron organizaciones académicas y la sociedad civil. Además, participaron representantes de instituciones de ambos lados de la frontera para definir los temas más apremiantes en materia de agua, su problemática y soluciones.¹² De esta forma, el PMIACRT es una iniciativa binacional que, a diferencia de las ya mencionadas, tuvo su origen en la sociedad civil organizada, lo que le da un significado relevante. Son los grupos sociales quienes retoman los temas pendientes de disponibilidad, conservación y saneamiento del agua en la CRT, para definir estrategias de aplicación y seguimiento a ambos lados de la frontera.

Estas iniciativas son respuesta a las necesidades propias de la CRT y, además, están alineadas a los principios internacionales de cooperación entre países con cuencas transfronterizas; por ejemplo, están vinculadas al Principio 11 de la Declaración de Lima, que convoca a “promover la participación efectiva del Estado, usuarios, comunidades nativas y sociedad civil que constituye un factor esencial de gobernabilidad del agua” (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2005). Sin embargo, todavía no existe un marco de cooperación en materia de aguas subterráneas transfronterizas a lo largo de la frontera México-Estados Unidos, por lo que estaría pendiente el cumplimiento del Principio 14 de la Declaración de Lima, y del Indicador 6.5.2 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS (ONU-Agua, 2020).

El manejo del agua superficial entre México y Estados Unidos está definido en el Tratado de Aguas de 1944, donde se establecen los mecanismos de colaboración entre las cuencas transfronterizas del río Bravo, del río Colorado y del río Tijuana. Este acuerdo permite establecer los protocolos para el aprovechamiento de las aguas de los tres principales ríos entre ambos países (CILA, 1944), lo que no ocurre en las cuencas compartidas entre México y sus vecinos de la frontera sur. En las cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice no se cuenta con acuerdos de alcance binacional, lo cual dificulta la coordinación con visión de cuencas compartidas entre estos tres países (García y Kauffer, 2011, p. 156).

Resultados y conclusiones

La CRT posee características físicas, biológicas y culturales que la hacen diferente. Destaca por su ubicación en la Provincia Florística de California, por la presencia del grupo kumiai y por la alta variabilidad climática. Además, el

¹² Véase <https://www.cuencariotijuana.org/programa-de-manejo-integral-del-agua/>

hecho de que la compartan dos países ha obligado a crear acuerdos para el manejo de los recursos naturales desde un enfoque binacional.

Los recursos hídricos en la CRT están sujetos a una presión cada vez más fuerte debido a dos aspectos. Por un lado, el crecimiento poblacional, el cual mantiene tasas de crecimiento constantes, aunque en los últimos años hayan disminuido. Por el otro, los escenarios de cambio climático hacen suponer una reducción de las precipitaciones hasta en 25% en el 2039, y si la escorrentía en la cuenca se reduce en 10%, las consecuencias se traducirán en una reducción en la captación de agua en la presa Rodríguez y en menor recarga natural en los tres acuíferos, todo ello en un contexto de alta variabilidad de lluvias. De cumplirse estos escenarios, la infraestructura hídrica urbana no será suficiente para abastecer la población, ya que depende en su mayoría del ARCT (Rodríguez, 2019, p. 188).

El trasvase como respuesta a la escasez de agua en la década de 1960 parecía ser la solución al problema, en particular para Tijuana, pero fue rebasado por el constante crecimiento poblacional. La solución parcial a este problema fueron los acuerdos en las actas de la CILA a partir de la década de 1970, referentes a las entregas de emergencia de agua de Estados Unidos a México. Esto fue el antecedente para la construcción del ARCT.

El ARCT representa una importante fuente de suministro de agua para las ciudades de Tijuana y Tecate, pero su ampliación en 2011 es un indicador de que se deben desarrollar otras fuentes más confiables de suministro. Este grado de incertidumbre se confirma si se tienen en cuenta los acuerdos que se deben concretar de forma continua con otros actores en el valle de Mexicali, mediante los cuales se aumentan los volúmenes requeridos para el abastecimiento urbano en la CRT.

Un elemento más que abona a la incertidumbre lo representa el hecho de que los usuarios de agua del río Colorado deberán ahorrar agua durante 2020, debido a la sequía prolongada por la que atraviesa la cuenca (CILA, 2019b). Sin embargo, aunque el abastecimiento de agua a través del ARCT no depende de manera directa de esta asignación, en el futuro inmediato se podría afectar a la población de la CRT al tener que hacer ajustes al suministro de agua entre los usuarios del valle de Mexicali.

La falta de implementación del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (SPA, 2012) y del Programa Sectorial de Resiliencia Urbana 2019-2024 (SEDATU e IMPLAN, 2018) son dos ejemplos de políticas públicas que no han sido implementadas, con lo cual se reducen las posibilidades de adaptación para enfrentar las nuevas condiciones asociadas con el cambio climático y sus efectos. Por lo antes expuesto, se presentan las siguientes recomendaciones:

1. En el corto plazo, establecer mecanismos de seguimiento entre los volúmenes de agua concesionada en los títulos y los volúmenes de recarga natural de los tres acuíferos, con lo que se evitaría una futura sobreexplotación de los mantos.
2. En el mediano plazo, analizar la viabilidad técnica, financiera, ambiental y social de nuevas opciones de suministro de agua, por ejemplo, el reúso del

agua tratada, que en 2016 apenas llegó a 82.5 l/seg entre los municipios de Tecate y Tijuana (CEA, 2016a, p. 70); y la desalación de agua de mar, con lo cual se diversificarían las fuentes de abastecimiento para no depender de modo casi exclusivo del ARCT.

3. Fortalecer la cooperación en materia de recursos hídricos con Estados Unidos, lo que repercutiría en un mejor cumplimiento de los acuerdos contraídos entre los dos países, mediante los cuales Tijuana se ha beneficiado a través de las entregas de emergencia.

Las medidas e instrumentos anteriores deben basarse en que el agua, en cuanto recurso natural, es finita y está sujeta a la variabilidad climática. Además, en cuanto servicio público, requiere contar con instituciones obligadas con el uso sustentable en las ciudades y en el campo. Los escenarios de cambio climático implican un desafío que involucra diferentes sectores de la sociedad, lo cual requiere interiorizar la necesidad de planear el uso, a largo plazo, de los recursos hídricos de la CRT. Los cortes de agua programados en Tijuana en noviembre de 2019 podrían ser más frecuentes en el futuro inmediato.

Referencias

- Alegria Olazábal, T. (2018). Desarrollo urbano y cambios de uso del suelo. En El Colegio de la Frontera Norte (ed.), *Diagnóstico socioambiental de la cuenca del río Tijuana* (pp. 132-146). Recuperado de <https://www.cuencariotijuana.org/wp-content/uploads/2019/11/191111-Diagn%3b3stico-socioambiental-de-la-Cuenca-del-R%3%ado-Tijuana.pdf>
- Bonilla Valdez, J. (2019). *Conferencia del 25 de noviembre de 2019*. Recuperado de <https://www.facebook.com/JaimeBonillaValdez/videos/555023255279247/>
- Brown, C., Castro, J. L., Lowery, N., y Write, R. (2003). Comparative analysis of transborder water management strategies: case studies on the U. S.-Mexican border. En S. Michel (ed.), *The U. S.-Mexican Border Environment: Binational Water Management Planning* (pp. 279-362). San Diego: San Diego State University Press.
- Cavazos, T., y Rivas, D. (2004). Variability of extreme precipitation events in Tijuana, Mexico. *Climate Research* (25), 229-243.
- Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA). (2016a). Programa Hídrico del Estado de Baja California. Visión 2035, actualización a octubre de 2018. Mexicali: Comisión Estatal del Agua de Baja California. Recuperado de <http://www.cea.gob.mx/phebc/resejec/RESUMEN%20EJECUTIVO%20PHEBC.pdf>
- Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA). (2016b). Acueducto río Colorado-Tijuana (presentación). Mexicali: Comisión Estatal del Agua de Baja California. Recuperado de <http://www.cea.gob.mx/arct.html>
- Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA). (2019). Acueducto Río Colorado Tijuana. Volúmenes de bombeo. Mexicali: Comisión Estatal del Agua de Baja California. Recuperado de <http://www.cea.gob.mx/pages/arct/volumen.html>

- Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA). (2020). Acueducto Río Colorado Tijuana. Recuperado de <http://www.cea.gob.mx/pages/arct/localizacion.html>
- Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT). (2006). *Historia de los acueductos en Tijuana y playas de Rosarito*. Tijuana: CESPT.
- Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT). (2019). Datos básicos e indicadores de gestión (a marzo de 2019). Tijuana: CESPT. Recuperado de https://www.cespt.gob.mx/Documentos/Transparencia/Art_81/81_30/30_01_2019_BasicosIndicadoresGestion.pdf
- Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILA). (1944). *Tratado entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos de América de la distribución de las aguas internacionales de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo, desde Fort Quitman, Texas, hasta el golfo de México*. Ciudad Juárez: Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos. Recuperado de <http://www.cila.gob.mx/tyc/1944.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILA). (2019a). Actas de la Comisión. Orden por proyecto. Ciudad Juárez: Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos. Recuperado de <http://www.cila.gob.mx/actas/proyectos.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILA). (2019b). Inicia la aplicación del Plan Binacional de Contingencia ante la Escasez de Agua en el Río Colorado en 2020. Boletín de prensa 123. Ciudad Juárez: Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos. Recuperado de <http://www.cila.gob.mx/prensa/prensa123.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018a). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tijuana (0201), estado de Baja California. México: *Diario Oficial de la Federación*, 4 de enero de 2018.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Precipitación mensual acumulada, estación 028 presa Rodríguez, Tijuana, estación 021 La Puerta, Tecate, estación 056 Valle de las Palmas, Tecate y estación 101 El Hongo, Tecate, B. C. Mexicali: Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018b). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tecate (0202), estado de Baja California. México: *Diario Oficial de la Federación*, 4 de enero de 2018.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018c). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Las Palmas (0205) estado de Baja California. México: *Diario Oficial de la Federación*, 4 de enero de 2018.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Registro Público de Derechos de Agua. México: CONAGUA. Recuperado de <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2015). Proyecciones de la población de los municipios en México, 2015-2030. Consejo Nacional de Población. México: Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/es/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030?state=published>

- Das, T., Dettinger, M., y Cayan, D. (2010). *Potential Impacts of Global Climate Change on Tijuana River Watershed Hydrology. An Initial Analysis*. San Diego: University of California. Recuperado de <https://escholarship.org/uc/item/5zw3z33w>
- El Colegio de la Frontera Norte (El COLEF). (2018). *Diagnóstico socioambiental de la cuenca del río Tijuana*. Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte y Fundación Río Arronte. Recuperado de <https://www.cuencariotijuana.org/wp-content/uploads/2019/11/191111-Diagn%3%b3stico-socioambiental-de-la-Cuenca-del-R%3%ado-Tijuana.pdf>
- García García, A., y Kauffer Michel, E. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte*, 23(45), 131-161.
- Garduño, E. (2015). *Pueblos indígenas de México en el siglo XXI: Yumanos*. México: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- González-Abraham, C.; Garcillán, P.; Ezcurra, E., y Grupo de Trabajo de Ecorregiones. (2010). Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. *Bol. Soc. Bot. Méx.* (87), 67-82.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. Jiutepec: IMTA. Recuperado de <https://www.gob.mx/publicaciones/es/articulos/atlas-de-vulnerabilidad-hidrica-en-mexico-ante-el-cambio-climatico?idiom=es>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de población y vivienda Aguascalientes*: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Baja California*. Aguascalientes: INEGI.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2005). Declaración de Lima. *Simposio Internacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuenecas Transfronterizas*. Lima, Perú, 18-20 de mayo de 2005. Recuperado de <http://oas.org/usde/Events/english/Documents/DeclaracionLima.pdf>
- Laborín Valdez, R., (2019). Conferencia de prensa, 5 de noviembre. Rigoberto Laborín Valdez. Director de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Recuperado de <https://www.facebook.com/CesptOficial/videos/925622591158426/>
- Martínez Zazueta, I. (2017). La super-explotación del agua en Baja California. *Geografía Septentrional*. Recuperado de <https://geografiaseptentrional.wordpress.com/2017/10/16/la-super-explotacion-del-agua-en-baja-california/>
- Naciones Unidas. (2015). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030*. Recuperado de https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf
- National Centers for Environmental Information. (23 de octubre de 2020). *Climatological Data Publications. California*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Asheville, NC. Recuperado de https://www.ncdc.noaa.gov/IPS/cd/cd.html;jsessionid=46DF715FDBF34C48B6A87824E3443908?_pa

- ge=0&jsessionid=46DF715FDBF34C48B6A87824E3443908&state=CA&target=1=Next+%3E
- Ojeda Revah, L., y Espejel Carbajal, M. I. (2008). La cuenca binacional del río Tijuana: un enfoque biohistórico. *Economía, Sociedad y Territorio*, 8(26), 517-548.
- ONU-Agua. (2020). *Metodología de monitoreo paso a paso para el indicador 6.5.2 de los ODS*. Recuperado de <https://www.sdg6monitoring.org/indicador-652/>
- Peña, H. (2016). *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL y Cooperación Técnica Alemana (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40074/1/S1600566_es.pdf
- Rodríguez Esteves, J. (2007). La conformación de los “desastres naturales”. Construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, B.C. *Frontera Norte*, 19(37), 83-112. doi: <http://dx.doi.org/10.17428/rfn.v19i37.1018>
- Rodríguez Esteves, J. (29-31 de octubre de 2019). Los contextos hidrológico y social ante el cambio climático en el norte de México: la cuenca del río Tijuana. En G. Vera Alejandre (responsable). *1er. Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*, memorias en extenso, volumen III (pp. 181-190). Red Mexicana de Cuencas. Ciudad de México. Recuperado de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/12/CMCH2019_MemoriaExtensos-Vol-III_M9-M12.pdf
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación en México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Salmón Castelo, R. F. (2020). Entrevista para medios de comunicación. Recuperado de <https://www.uniradioinforma.com/videos/noticias/album/14/video20144.html>
- Sánchez Rodríguez, R. (2011). Urban and social vulnerability to climate variability in Tijuana, Mexico. En R. Kasperson y M. Berberian (eds.), *Integrating science and policy. Vulnerability and resilience in global environmental change* (pp. 187-135). Nueva York: Earthscan.
- Sánchez Rodríguez, R., y Morales Santos, E. (2018). Vulnerability assessment to climate variability and climate change in Tijuana, Mexico. *Sustainability*, 10(7), 2352. <https://doi.org/10.3390/su10072352>
- San Diego County Water Authority (SDCWA). (2020). *Water Supplies*. Recuperado de <https://www.sdcwa.org/water-supplies>
- San Diego State University (SDSU). (2005). *A Binational Vision for Tijuana River Watershed*. San Diego: San Diego State University. Recuperado de <https://www.cuencariotijuana.org/wp-content/uploads/2019/10/2005-Tijuana-River-Watershed-Binational-Vision-SDSU.pdf>
- San Diego State University (SDSU), y El COLEF (eds.). (2005). *Tijuana River Watershed Atlas*. San Diego: San Diego State University Press e Institute for Regional Studies of the Californias.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), Consejo Nacional de Población (CONAPO), e Instituto Nacional de Estadística, Geografía

- e Informática (INEGI). (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2015*. Ciudad de México: SEDATU, CONAPO e INEGI. Recuperado de <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015-149891>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), e Instituto Metropolitano de Planeación (IMPLAN). (2018). *Programa sectorial de resiliencia urbana para el municipio de Tijuana, B.C.* Tijuana: SEDATU e IMPLAN.
- Secretaría de Fomento Agropecuario. (2015). Superficie sembrada por zona, subzona, cultivos cíclicos más perennes, municipio de Tecate 2015. Riego más temporal (hectáreas). En *Programa general de Tecate, 2015*. Mexicali: Secretaría de Fomento Agropecuario y Gobierno del Estado de Baja California. Recuperado de http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/panoramas/2015/FICHA%20TECATE%202015.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Atlas del agua en México, edición 2018*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/AAM2018.pdf>
- Secretaría de Protección al Ambiente (SPA). (2012). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California*. Mexicali: SPA y Gobierno del Estado de Baja California.
- Terra Peninsular. (2016). *Provincia Florística de California*. Recuperado de <https://terrapeninsular.org/la-provincia-floristica-de-california/>
- The Metropolitan Water District of Southern California (TMWDSC). (2020). *About your Water. Sources of Supply Imported*. Recuperado de <http://www.mwdh2o.com/AboutYourWater/Sources%20Of%20Supply/Pages/Imported.aspx>
- U. S. Census Bureau. (2010). *QuickFacts San Diego County, California*. Recuperado de <https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/sandiegocountycalifornia,CA/PST045219>
- Winckell, A., Le Page, M., y Vela, R. (2004). *Cincuenta años en la historia pluviométrica de Tijuana*. Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte e Institut de Recherche pour Développement.