



Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.

Capítulo 2

Hidrología del Pánuco

Abril de 2015

Capítulo 2. Hidrología del Río Pánuco

Francisco Javier Carbajal Tradacete, Juan Ángel Sánchez de Llanos, José Luis González Burdiel, Óscar del Río Benito, Juan Gonzalvo Navarro, Francisco Javier García Moral, David Gutiérrez Iglesias

Contenido

Resumen ejecutivo.....	4
Antecedentes	5
Consejo de Cuenca 19, Río Pánuco	6
Usuarios de agua del Pánuco	11
Suficiencia de agua y relación con las demandas	14
Variaciones en la disponibilidad final para las diferentes etapas del Título de Asignación.....	19
Aprovechamiento de estructuras de regulación.....	2423
El Pánuco y las reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México	26
Cambio climático y disponibilidad de agua.....	28
Variaciones en la disponibilidad final para las diferentes etapas del Título de Asignación bajo la hipótesis de Cambio Climático	43
Conclusiones	45
Referencias.....	46

Índice de Tablas

Tabla 1. Publicaciones sobre la disponibilidad media de aguas superficiales de la RH26 y RH27	8
Tabla 2. Disponibilidad de las cuencas hidrológicas según las últimas publicaciones en el DOF.	9
Tabla 3. Volúmenes Reservados a Querétaro	12
Tabla 4. Dotaciones per cápita previstas	14
Tabla 5. Programa de abastecimiento del Pánuco a Guanajuato.	14
Tabla 6. Volumen reservado de cuencas del Pánuco a Guanajuato y Querétaro.....	15
Tabla 7. Disponibilidad de cuencas del Pánuco Vs Reservas para Querétaro y Guanajuato.	16
Tabla 8. Balance hidrológico empleado para el Proyecto Monterrey VI (DOF 18/07/2011).	16
Tabla 9. Caudales/mes calculados para Monterrey VI.....	17
Tabla 10. Balance intra-anual de aportaciones vs demandas con gastos medios mensuales.	18
Tabla 11: Flujos mínimos Río Pánuco 1 (Decreto 1999).....	21
Tabla 12: Umbral de Parada. Volúmenes en la estación hidrométrica Las Adjuntas	21
Tabla 13. Grandes estructuras de regulación aguas arriba de la Obra de Toma.	25
Tabla 14. Listado propuesto de reservas potenciales de agua.	27
Tabla 15. Anomalías de precipitación para los meses de enero y marzo, para los tres escenarios RCP y para el futuro cercano (2015-2039).	30

Tabla 16. Anomalías de precipitación para los meses de mayo y julio, para los tres escenarios RCP.	31
Tabla 17. Anomalías de precipitación para los meses de septiembre y noviembre, para los tres escenarios RCP.	32
Tabla 18. Cambio proyectado (con respecto al clima presente) de temperatura (T) en °C y precipitación (P) en %.	39
Tabla 19. Problemática de los recursos hídricos de la cuenca del río Pánuco.....	40
Tabla 20: Balance intra-anual de aportaciones vs demandas con gastos medios mensuales. Con la hipótesis de Cambio Climático	42

Índice de Figuras

Figura 1. Localización de la Región Hidrológica (RH) 26 Pánuco.....	5
Figura 2. Disponibilidad en las regiones hidrológicas RH26 y RH27	9
Figura 3: Localización de estructuras de regulación aguas arriba de la obra de toma	26
Figura 4. Anomalías de precipitación de enero a marzo para los escenarios RCP 4.5, RCP6.0 y RCP8.5.	30
Figura 5. Anomalías de precipitación en mayo y julio para los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5	31
Figura 6. Anomalías de precipitación en septiembre y noviembre para los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5	32
Figura 7. Modelo UKHADGEM con el escenario “A2” de número de años secos y muy secos en el periodo 2010 – 2069	34
Figura 8. Modelo UKHADGEM “A1B” de número de años secos y muy secos en el periodo 2010-2069.....	34
Figura 9. Modelo Echam: número de años secos y muy secos en el periodo 2010-2069	34
Figura 10. Área del estudio de cambio climático de García Betancourt et al, 2013.....	36
Figura 11. Territorio y estados que conforman la RHA IX: Golfo Norte.....	37
Figura 12. Condición observada actual de temperatura promedio anual y simulación 2015-2039. 38	
Figura 13. Condición observada actual de precipitación promedio anual y simulación para el futuro cercano (2015-2039)	38
Figura 14. Anomalía del escurrimiento medio anual para el año 2030	41

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Distribución intra- anual de las precipitaciones en el CC19	7
Gráfica 2: Evolución de la disponibilidad media mensual. Periodo Actual a >2051	19
Gráfica 3: Escurrimientos medios mensuales (Ab) en la E.H. Las Adjuntas vs Umbral de Parada....	23
Gráfica 4. Flujos de la estación hidrométrica Las Adjuntas (media, mediana y percentil del 10%) .	24
Gráfica 5: Porcentajes de variación en precipitaciones (mm) y temperatura (C) esperados en San Luis Potosí y Veracruz.....	28
Gráfica 6: Ciclo anual de precipitación.....	39
Gráfica 7: Evolución de la disponibilidad media mensual. Periodo Actual a >2051 Bajo la hipótesis de Cambio Climático	43
Gráfica 8: Escurrimientos medios mensuales (Ab) en la E.H. Las Adjuntas Vs Umbral de Parada en la hipótesis de Cambio Climático.....	44

Acrónimos

AMM	Área Metropolitana de Monterrey
Conagua	Comisión Nacional del Agua
DGIRA	Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental de la Semarnat
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto Monterrey VI
Mm ³	Millones de metros cúbicos
PMPMS	Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía
Proyecto	Proyecto Monterrey VI
Q _{eco}	Caudal ecológico
S.G.P.A.	Subsecretaría de Gestión para Protección Ambiental de la Semarnat
SADM	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
TNC	The Nature Conservancy

Resumen ejecutivo

Al plantearse la opción de abastecimiento de agua para el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) desde el río Pánuco, se consideró importante conocer la situación de los recursos hídricos de esta región. A partir de la revisión documental, se presenta información sobre el balance, las demandas de agua —actuales y previstas para el futuro cercano— así como de los escenarios estudiados de cambio climático y su relación con la disponibilidad.

Los acuerdos por los que se dan a conocer los resultados de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas de los ríos y arroyos de la región hidrológica del Río Pánuco de 2008¹, su actualización en 2011², y los datos aportados por la Conagua a The Nature Conservancy (TNC³), confirman la disponibilidad de agua superficial en la región.

Aunque existe disponibilidad global anual, se considera importante tomar en cuenta algunas variables que podrían influir en la suficiencia de agua para la operación del acueducto en el futuro, como la disminución del escurrimiento natural de la región hidrológica, la diferencia estacional de la disponibilidad a lo largo del año, las concesiones de aguas superficiales de tributarios del Pánuco reservadas para otras entidades del país, y los escenarios de cambio climático que de acuerdo a diversos estudios, suponen una disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura que se traducen en reducción de la disponibilidad de agua.

De acuerdo a la Conagua, el río Pánuco tiene un problema de escasez, cuya causa es que: *“La disponibilidad del agua superficial está comprometida, especialmente en época de estiaje”* y sus efectos son: *“Existe disponibilidad media anual, pero problemas de déficit en el estiaje generan una fuerte competencia entre sectores de usuarios”*.

Para minimizar el riesgo que estos compromisos pudiesen significar para la operación de Monterrey VI en épocas de estiaje, y los cambios potenciales esperados en la disponibilidad por efecto del cambio climático, se recomienda analizar el potencial de utilización de la infraestructura de regulación existente. Como una primera aproximación, se identificaron y mapearon las estructuras de regulación con base en el inventario de presas de la Conagua (2014). La información derivada del inventario es de 505 estructuras (embalses, lagunas, etc.), con un volumen útil de 3,917.00 Mm³ en el área de influencia (aguas arriba de la obra de toma). De éstas, 23 tienen una capacidad de almacenamiento superior a 10 Mm³, sumando un volumen útil de 3,606.00 Mm³ que corresponde al 92% de la capacidad de regulación total.

Si se toman en cuenta sólo las estructuras con capacidad de almacenamiento superior a los 50 Mm³, se tienen 10 grandes embalses y lagunas, con un volumen útil de 3,328.00 Mm³ (85% de la capacidad de regulación total). Con estos 10 grandes embalses y lagunas, pese a encontrarse en cabecera y alejados del tramo de toma, parece posible realizar una regulación adicional en los meses deficitarios del escenario para el trasvase de Monterrey VI. No obstante, lo anterior debería

¹ DOF. 21 de enero de 2008.

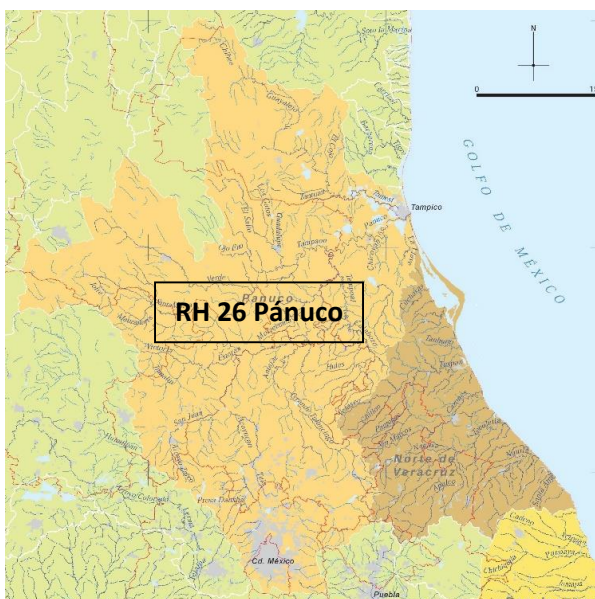
² DOF. 18 de julio de 2011

³ Minuta de trabajo entre The Nature Conservancy y la Comisión Nacional del Agua, 5 de marzo del 2015, en la que se define el alcance explicativo a la opinión técnica emitida por la Conagua en agosto del 2012 a la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto del Acueducto Monterrey VI

confirmarse con el análisis de regulación del organismo competente, en la redacción de un plan hidrológico de esta región.

Antecedentes

Figura 1. Localización de la Región Hidrológica (RH) 26 Pánuco



La seguridad hídrica en la región del Pánuco es una prioridad para México, tanto por la población que soporta como por el creciente estrés hídrico y deterioro de los recursos naturales que experimenta. El 75% de la población del país está distribuida en sólo 13 cuencas, entre ellas la del Río Pánuco (Cotler *et al.*, 2010). Es también una de las corrientes más importantes de la República Mexicana: ocupa el cuarto lugar en superficie y el quinto en lo que se refiere a volúmenes escurridos. Proporciona grandes beneficios a la región, ya que sus escurrimientos, controlados mediante varias presas, son aprovechados con fines de riego en los Estados de Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, Tamaulipas y Estado de México (Pereyra *et al.*, 2010).

Tomando en cuenta el nivel de fragmentación de los ríos y el estado ecológico de las zonas riparias, las cuencas con mayores niveles de deterioro eco-hidrológico son la cuenca de México, el río Balsas, el lago de Cuitzeo, el río Bravo, el río Santiago, el río Pánuco y el río de San Luis Potosí. El conjunto de ríos que forman parte de las cuencas mencionadas equivale al 31% de la longitud total de ríos de México y en sus alrededores reside más de la mitad de la población del país (Garrido *et al.*, 2010). Estos autores sitúan al río Pánuco como uno de los siete sistemas fluviales con más alto nivel de alteración eco-hidrológica del país, de acuerdo a un modelo espacial multicriterio conformado por 75 variables ambientales y sociales.

Por otro lado, el Pánuco ha sido considerado como la solución para resolver problemas de escasez en varias ciudades en el centro del país (Querétaro, diversas ciudades del estado de Guanajuato y, recientemente en Monterrey, al norte del mismo). Enfrentar la escasez es uno de los grandes desafíos para lograr el desarrollo social y económico en las ciudades. Si el agua de una misma fuente está asignada a varios usuarios, es fundamental tener una visión integrada como estrategia para alcanzar la seguridad hídrica de las regiones involucradas en el largo plazo.

El aprovechamiento previsto para Monterrey VI consiste en un acueducto que conducirá agua desde el río Pánuco, ubicado en la Región Hidrológica 26, en el municipio de Ébano, San Luis Potosí, y que descargará en la estación existente de bombeo del Acueducto Cerro Prieto-Monterrey, en el estado de Nuevo León.

El proyecto inicia en la obra de toma, en la margen izquierda del río Pánuco, en el municipio de Ébano, San Luis Potosí, aguas abajo de la estación hidrométrica 26255, denominada Las Adjuntas. Su ubicación se encuentra en las coordenadas geográficas 21°57'43.3" de latitud N y 98°32'57.3" de longitud O (Título de Asignación 09SLP112912/26HAGC14).

Consejo de Cuenca 19, Río Pánuco

Los Consejos de Cuenca son órganos colegiados de integración mixta para la planeación, administración y realización de acciones de gestión de los recursos hídricos por cuenca o región hidrológica. El río Pánuco pertenece al Consejo de Cuenca 19 (CC 19), y al Organismo de Cuenca Golfo Norte de la Conagua.

El ámbito territorial del Consejo de Cuenca 19 Río Pánuco se ubica en la zona noreste del país, en la vertiente del Golfo de México. Comprende parte de las entidades federativas de Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Guanajuato principalmente. Entre las ciudades más importantes del CC 19 se encuentra: Tampico, Ciudad Madero, Miramar (Tamaulipas), San Juan del Río (Querétaro), Ciudad Valles (San Luis Potosí) y Tulancingo (Hidalgo). Abarca una extensión territorial de 83,884.20 km², lo que representa el 4.3% del territorio de la República Mexicana (Conagua, 2013).

La principal corriente superficial se encuentra sobre la vertiente del Golfo de México y está representada por el río Pánuco y sus afluentes, con una longitud de 510 km. De acuerdo con la (Conagua, 2013), los principales cuerpos de agua del CC 19 son, la Laguna de Tamiahua (La Ciénega), la Laguna de Metztitlan y Manantial de la Media Luna. La Laguna de Tamiahua mide de norte a sur 110 km y tiene 25 km de anchura máxima de este a oeste. La laguna de Metztitlan es la represa natural más grande de México; El Manantial de la Media Luna es el de mayor importancia en San Luis Potosí desde el punto de vista científico, turístico histórico y ecológico. Se encuentra distribuido en una zona de 2.5 hectáreas y comprende una serie de canales y seis manantiales.

El CC 19 está conformado por 69 cuencas que se encuentran agrupadas en las subregiones hidrológicas de Bajo Pánuco (26^a), Alto Pánuco (26B), San Juan Querétaro (26C), Tulancingo (26E) y Norte de Veracruz – Laguna de Tamiahua (27). Las cuencas hidrológicas que corresponden a la subregión de San Juan Querétaro son: Arroyo Zarco, Río Ñado, Río Galindo, Río San Juan 1, Río Tecozautla y Río San Juan 2.

Las cuencas hidrológicas que corresponden a la subregión Tulancingo son: Río Grande de Tulancingo, Río Metztitlan 1, Río Metzquititlan, Río Metzquititlan 2, y Río Amajaque.

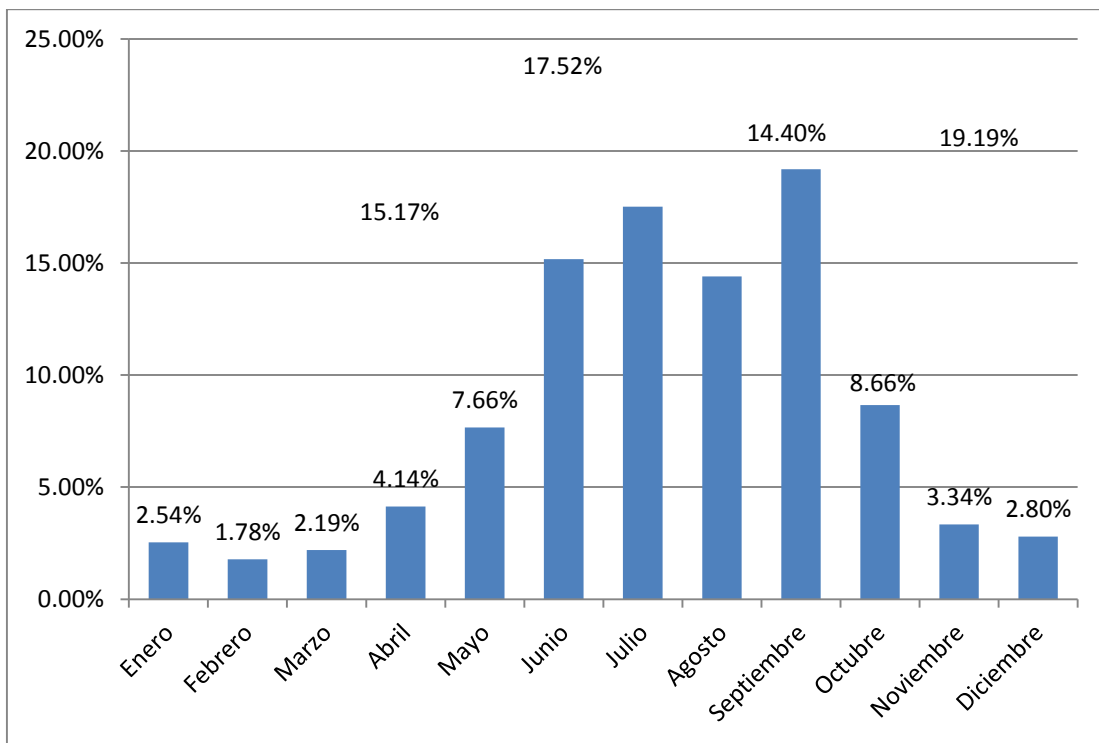
Las cuencas hidrológicas que corresponden a la subregión de Bajo Pánuco son: Río Calabozo, Río los Hules, Río Tempoal 1, Río San Pedro, Río Tempoal 2, Río Tamasopo 1, Río Tamasopo 2, Río Gallinas, Río el Salto, Río Valles, Río Tampaon 1, Río Choy, Río Coy 1, Río Coy 2, Río Tampaon 2, Río Moctezuma 3, Río Moctezuma 4, Río Jaumave-Chihue, Río Guayalejo 1, Río Guayalejo 2, Río Sabinas, Río Comandante 1, Río Comandante 2, Río Mante, Río Guayalejo 3, Arroyo El Cojo, Río Tantoan, Río Guayalejo 4, Río Tamesí, Río Moctezuma 85, Río Chicayan 1, Río Chicayan 2, Río Pánuco 1, Arroyo Tamacuil, y Río Pánuco 2.

Las cuencas hidrológicas que corresponden a la subregión Alto Pánuco son: Río Claro, Río Amajac, Río Verde 1, Río Verde 2, Río Verde 3, Arroyo El Puerquito, Arroyo Altamira, Río Santa María 1, Río Santa María 2, Río Santa María 3, Río Victoria, Río Toliman, Río Extoraz, Embalse Zimapan, Río Moctezuma 1, Río Moctezuma 2, Río Tancuilin y Río Huichihuayan.

Las cuencas hidrológicas que corresponden a la subregión Norte de Veracruz-Laguna de Tamihahua son: Río Cucharas, Río Tancochin, Arroyo La Piedra, Arroyo Carbajal y Estero Galindo.

Precipitaciones

En el CC 19 la precipitación media anual es del orden de los 961 mm y ocurre principalmente entre mayo y octubre; sin embargo, debido al tamaño de la cuenca, algunos lugares sobrepasan 1000 mm anuales. Las lluvias se presentan principalmente durante el verano en los meses de mayo a octubre (alrededor del 80% del total anual); durante el invierno se registra un 16% de precipitación entre los meses de noviembre a abril, debido a la ocurrencia de frentes fríos del norte que provocan precipitaciones al chocar con masas de aire marítimo tropicales provenientes del Golfo de México ([Gráfica 1](#)[Gráfica 1](#)[Gráfica 1](#)).



Gráfica 1. Distribución intra- anual de las precipitaciones en el CC19
Fuente: Conagua (2013)

Disponibilidad de agua superficial en el CC 19

La Ley de Aguas Nacionales establece que para otorgar los títulos de concesión o asignación se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua de la cuenca hidrológica o acuífero en el que se vaya a realizar el aprovechamiento. La Comisión Nacional del Agua tiene la obligación de

publicar dichas disponibilidades a través del Diario Oficial de la Federación (DOF), para lo cual generó la norma NOM- 011-CNA-2000 “Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” publicada el 17 de Abril de 2002 (Conagua, 2012).

El CC está conformado principalmente por la RH 26 la cual incluye las subregiones de San Juan Querétaro, Tulancingo, Alto Pánuco y Bajo Pánuco; contiene también la subregión Laguna de Tamiahua que corresponde a la RH 27 Norte de Veracruz. El CC 19 tiene un escurrimiento natural medio anual de 56,044.20 Mm³ según los resultados más recientes publicados en el DOF 18/07/2011, resumidos en la Tabla 1(Conagua, 2013).

Tabla 1. Publicaciones sobre la disponibilidad media de aguas superficiales de la RH26 y RH27

Subregión Hidrológica	Resultados de disponibilidad en el DOF	
	Primer Publicación	Actualización
Río Pánuco	21-ene-08	18-jul-11
Alto Pánuco	21-ene-08	18-jul-11
Bajo Pánuco	21-ene-08	18-jul-11
San Juan Querétaro	21-ene-08	18-jul-11
Tulancingo	21-ene-08	18-jul-11
Norte de Veracruz		
Laguna Tamiahua	12-jun-07	

Fuente: Conagua (2013)

A partir de las actualizaciones de disponibilidad media anual del CC se observa que hubo una disminución del 36.82% en cuanto al volumen disponible en las 69 cuencas, como puede observarse en la Figura 2 y en la [Tabla 2](#) (Conagua, 2013).

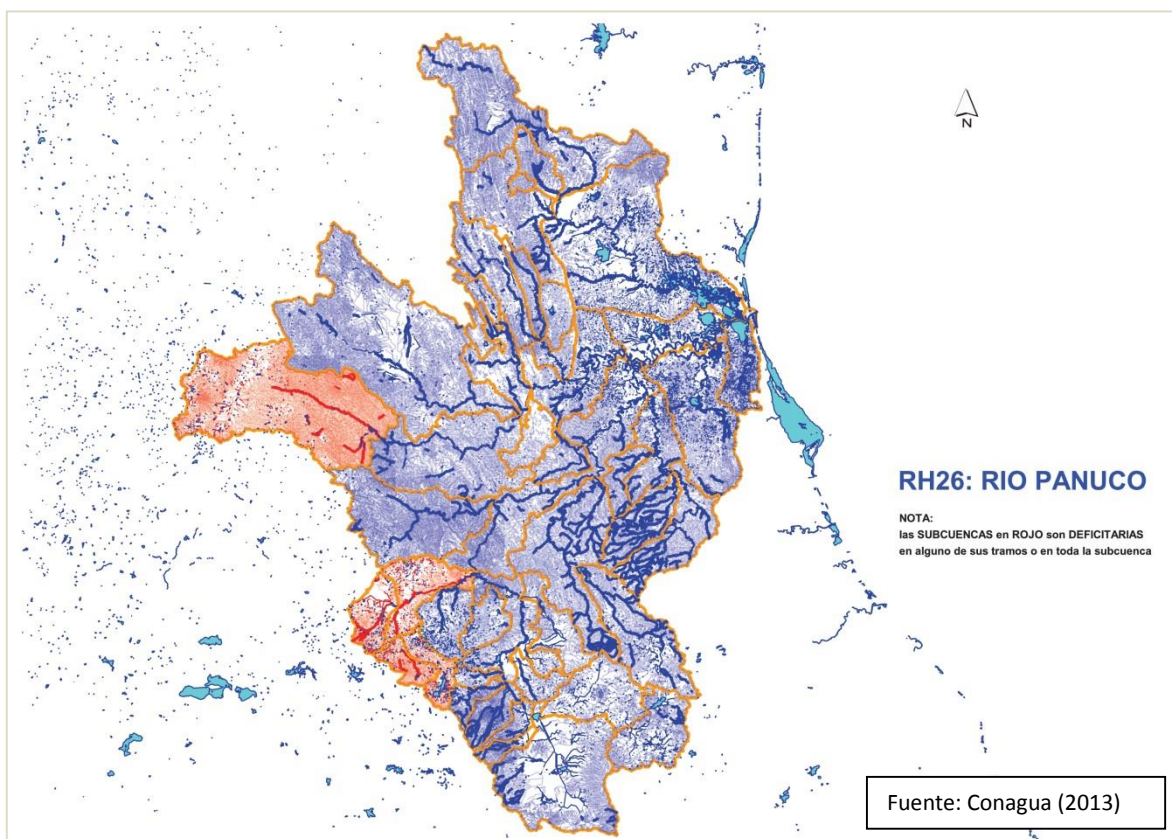


Figura 2. Disponibilidad en las regiones hidrológicas RH26 y RH27

Tabla 2. Disponibilidad de las cuencas hidrológicas según las últimas publicaciones en el DOF.

Clave	Cuenca Hidrológica	Volumen (Mm ³)	Clasificación	Volumen (Mm ³)	Clasificación
		21-ene-08		18-jul-11	
Subregión San Juan Querétaro					
2601	Arroyo Zarco	0.36	Disponibilidad	0.00	Déficit
2602	Río Galindo	0.00	Déficit	0.00	Déficit
2603	Río Ñando	0.00	Déficit	0.00	Déficit
2604	Río San Juan 1	3.12	Disponibilidad	0.00	Déficit
2605	Río Tecozautla	1.40	Disponibilidad	0.29	Disponibilidad
2606	Río San Juan 2	3.46	Disponibilidad	0.13	Disponibilidad
Subregión Tulancingo					
2607	Río Grande de Tulancingo	8.89	Disponibilidad	8.88	Disponibilidad
2608	Río Metzititlán 1	73.21	Disponibilidad	61.02	Disponibilidad
2609	Río Metzititlán	16.18	Disponibilidad	14.49	Disponibilidad
2610	Río Metzititlán 2	131.82	Disponibilidad	112.41	Disponibilidad
2611	Río Amajaque	56.18	Disponibilidad	51.55	Disponibilidad

Clave	Cuenca Hidrológica	Volumen (Mm ³)	Clasificación	Volumen (Mm ³)	Clasificación
		21-ene-08		18-jul-11	
Alto Pánuco					
2612	Río Claro	303.27	Disponibilidad	289.50	Disponibilidad
2613	Río Amajac	892.24	Disponibilidad	682.15	Disponibilidad
2619	Río Verde 1	13.88	Disponibilidad	8.10	Disponibilidad
2620	Río Verde 2	93.38	Disponibilidad	57.01	Disponibilidad
2621	Río Verde 3	159.05	Disponibilidad	97.94	Disponibilidad
2622	Arroyo El Puerquito	0.05	Disponibilidad	0.00	Déficit
2623	Arroyo Altamira	3.16	Disponibilidad	0.00	Déficit
2624	Río Santa María 1	60.67	Disponibilidad	0.00	Déficit
2625	Río Santa María 2	140.15	Disponibilidad	58.66	Disponibilidad
2626	Río Santa María 3	635.40	Disponibilidad	409.93	Disponibilidad
2637	Río Victoria	10.57	Disponibilidad	7.31	Disponibilidad
2638	Río Tolimán	6.93	Disponibilidad	4.65	Disponibilidad
2639	Río Extóraz	51.28	Disponibilidad	20.14	Disponibilidad
2640	Embalse Zimapán	1,014.62	Disponibilidad	0.00	Déficit
2641	Río Moctezuma 1	629.82	Disponibilidad	627.43	Disponibilidad
2642	Río Moctezuma 2	1,148.54	Disponibilidad	1,062.67	Disponibilidad
2643	Río Tancuilín	298.71	Disponibilidad	242.91	Disponibilidad
2644	Río Huichihuayán	592.09	Disponibilidad	496.01	Disponibilidad
Bajo Pánuco					
2614	Río Calabozo	725.88	Disponibilidad	584.56	Disponibilidad
2615	Río Los Hules	608.04	Disponibilidad	481.68	Disponibilidad
2616	Río Tempoal 1	1,475.89	Disponibilidad	1,197.06	Disponibilidad
2617	Río San Pedro	264.28	Disponibilidad	214.67	Disponibilidad
2618	Río Tempoal 2	1,909.85	Disponibilidad	1,589.05	Disponibilidad
2627	Río Tamasopo 1	243.24	Disponibilidad	161.00	Disponibilidad
2628	Río Tamasopo 2	503.75	Disponibilidad	354.53	Disponibilidad
2629	Río Gallinas	322.12	Disponibilidad	204.86	Disponibilidad
2630	Río El Salto	872.67	Disponibilidad	424.35	Disponibilidad
2631	Río Valles	204.75	Disponibilidad	132.77	Disponibilidad
2632	Río Tampaón 1	3,660.43	Disponibilidad	2,531.24	Disponibilidad
2633	Río Choy	189.65	Disponibilidad	130.11	Disponibilidad
2634	Río Coy 1	671.37	Disponibilidad	498.71	Disponibilidad
2635	Río Coy 2	775.33	Disponibilidad	580.84	Disponibilidad
2636	Río Tampaón 2	4,511.52	Disponibilidad	3,170.44	Disponibilidad
2645	Río Moctezuma 3	4,071.73	Disponibilidad	2,966.36	Disponibilidad
2646	Río Moctezuma 4	6,123.91	Disponibilidad	4,674.03	Disponibilidad
2647	Río Jaumave-Chihue	36.56	Disponibilidad	27.39	Disponibilidad

Clave	Cuenca Hidrológica	Volumen (Mm ³)	Clasificación	Volumen (Mm ³)	Clasificación
		21-ene-08		18-jul-11	
2648	Río Guayalejo 1	121.16	Disponibilidad	87.61	Disponibilidad
2649	Río Guayalejo 2	162.02	Disponibilidad	128.65	Disponibilidad
2650	Río Sabrinás	220.35	Disponibilidad	161.49	Disponibilidad
2651	Río Comandante 1	90.84	Disponibilidad	74.90	Disponibilidad
2652	Río Comandante 2	441.52	Disponibilidad	238.84	Disponibilidad
2653	Río Mante	64.36	Disponibilidad	39.10	Disponibilidad
2654	Río Guayalejo 3	1,029.46	Disponibilidad	713.78	Disponibilidad
2655	Arroyo El Cojo	19.14	Disponibilidad	11.86	Disponibilidad
2656	Río Tantoán	42.94	Disponibilidad	47.29	Disponibilidad
2657	Río Guayalejo 4	1,329.98	Disponibilidad	941.56	Disponibilidad
2658	Río Tamesí	1,619.26	Disponibilidad	1,165.49	Disponibilidad
2659	Río Moctezuma 5	11,019.03	Disponibilidad	8,155.28	Disponibilidad
2660	Río Chicayán 1	195.31	Disponibilidad	136.32	Disponibilidad
2661	Río Chicayán 2	481.30	Disponibilidad	328.83	Disponibilidad
2662	Río Pánuco 1	11,481.69	Disponibilidad	8,480.96	Disponibilidad
2663	Arroyo Tamacuil	167.61	Disponibilidad	121.25	Disponibilidad
2664	Río Pánuco 2	13,940.00	Disponibilidad	10,233.67	Disponibilidad
Norte de Veracruz – Laguna Tamiahua		12-jun-07			
2701	Río Cucharas	208.92	Disponibilidad		
2702	Río Tancochín	208.74	Disponibilidad		
2703	Arroyo la Piedra o La Laja	90.39	Disponibilidad		
2704	Arroyo Carbajal	60.60	Disponibilidad		
2705	Estero Galindo	169.84	Disponibilidad		

Fuente: Conagua (2013)

Usuarios de agua del Pánuco

Como en otras regiones del mundo, algunas ciudades de México buscan nuevas fuentes de suministro debido al agotamiento de sus fuentes locales de agua dulce —cuerpos de agua superficiales y acuíferos—. El patrón de agotamiento de fuentes locales seguido por la importación de agua de otras cuencas ha sido muy claro en la ciudad de México, y se planea repetir en tres entidades que están procurando garantizar su abastecimiento con aguas del río Pánuco: Querétaro, Nuevo León y Guanajuato. El modelo se acompaña con una pérdida de ecosistemas importantes para mantener procesos naturales de recarga de acuíferos y regulación de cuencas hidrológicas, como se comenta en los documentos oficiales de asignación.

Cuadro 1. Justificación de las asignaciones de agua de Pánuco.

La demanda creciente de abastecimiento de agua como resultado del crecimiento demográfico del Estado de Querétaro ha conducido a la sobreexplotación de los acuíferos. Aunado a lo anterior, la expansión de la mancha urbana y la consecuente pérdida de suelo con cubierta vegetal ha reducido la recarga natural de los acuíferos. DOF 02/07/2009

La creciente demanda de abastecimiento de agua como resultado del crecimiento demográfico del Estado de Guanajuato y sus procesos productivos, ha conducido a la sobreexplotación de los acuíferos. Aunado a lo anterior, la expansión de la mancha urbana y la consecuente pérdida de suelo con cubierta vegetal ha reducido la recarga natural de los acuíferos. DOF 07/04/2014

Con el propósito de tener un panorama general de la forma en que se está gestionando el agua superficial en la región, se presenta a continuación una reseña de las disposiciones oficiales que dan origen a las recientes reservas y asignaciones de agua de la Subregión Hidrológica del Pánuco para Querétaro, Guanajuato y Nuevo León.

En el DOF de fecha 29/08/2013 se instituye el “Decreto por el que se establece la reserva parcial de aguas nacionales superficiales para destinarse a los usos doméstico y público urbano, en la zona que ocupan las cuencas hidrológicas Río Moctezuma 1, Río Extóraz y Río Santa María 3”. Éste establece que para atender la problemática que presenta el abastecimiento de agua para el uso doméstico y público urbano, en el Estado de Querétaro, se reservan ciertos volúmenes de la RH26 Río Pánuco como se observa en la [Tabla 3](#)~~Tabla 3~~~~Tabla 3~~.

Tabla 3. Volúmenes Reservados a Querétaro

Año	Volumen Reservado			Río
2021	158.00	Mm ³ /año	5 m ³ /s	Moctezuma 1
2059	79.00	Mm ³ /año	2.5 m ³ /s	Extoraz
2080	158.00	Mm ³ /año	5 m ³ /s	Santa María 3
SUMA	395.00	Mm³/año	12.5 m³/s	

Fuente: DOF 29/08/2013

Sobre la reserva de 79 Mm³/año del río Extóraz, se realiza la siguiente puntualización:

- b)** *De la Cuenca Hidrológica Río Extóraz, Región Hidrológica número 26 Pánuco, con volumen disponible de 20.14 millones de metros cúbicos anuales, disponibilidad que se incrementa con un volumen de 78.80 millones de metros cúbicos anuales, aportados por el Estado de Querétaro para esta reserva, en los términos señalados en el apartado de consideraciones del presente Decreto, para hacer un total de 98.94 millones de metros cúbicos anuales, se reservan 79 millones de metros cúbicos anuales.*

En el referido apartado de consideraciones del Decreto dice:

Que para los efectos de constituir la reserva de aguas nacionales, el Estado de Querétaro ha manifestado su disposición a ceder en favor de la reserva, el volumen de 78.8 millones de metros cúbicos anuales que le fueron otorgados por la Comisión Nacional del Agua mediante título de concesión número 09QRO10020326HAGC03, con la finalidad de que se realice el uso del mismo cuando el proyecto que conforma el Acueducto II,.....

De esta manera, de los 79 Mm³/año del río Extóraz reservados a Querétaro para el año 2059, 78.80 Mm³/año ya los tenía concesionados a efectos del cálculo del balance hídrico, por lo que este balance, sólo se verá afectado en este concepto por los 0.20 Mm³/año más del mencionado río que se le reservan.

Para satisfacer la demanda de agua en la Ciudad de Monterrey, el 14 de diciembre de 2011 el Gobierno Federal, por conducto de la Conagua, otorgó al gobierno del estado de Nuevo León, a través del SADM, un Título de Asignación con número 09SLP112912/26HAGC11 para explotar, usar o aprovechar aguas nacionales superficiales por un volumen de 473'040,000.00 metros cúbicos anuales para uso público urbano en la ciudad de Monterrey y su área Metropolitana por un plazo de 30 años⁴,

La fuente de abastecimiento es la margen izquierda del Río Pánuco, en San Luis Potosí (CMIC, 2014). Posteriormente, con fecha 14 de marzo de 2014, debido a la modificación del punto de derivación de las aguas, el Título de Asignación fue reimpresso con el número 09SLP112912/26HAGC14 para la utilización de un volumen anual de hasta 473, 040,000 m³ anuales de aguas superficiales nacionales para fines públicos en la ZMM. Las etapas previstas de extracción son: año: 5,000 l/s en el periodo 2015-2026; 10,000 l/s para el 2027-2050, y 15,000 l/s en los siguientes años (SADM, 2014). Asimismo, el volumen de agua asignado o reservado del Pánuco y sus tributarios para Guanajuato, Querétaro y Monterrey para el año 2080 es de 970.95 Mm³/año.

Con la asignación a Nuevo León, se busca lograr el propósito del Proyecto Monterrey VI, que es: *“Incorporar al sistema de producción de agua a cargo del SADM, una nueva fuente de abastecimiento, fuera de la cuenca donde actualmente se encuentran las fuentes disponibles, que permita contar con una oferta de agua garantizada de 5,000 l/s como gasto medio, sin que dependa de las fluctuaciones anuales de disponibilidad de agua en los años secos”* (SADM, 2011).

En los tres casos anteriores, el agua será utilizada fundamentalmente para usos domésticos y público urbanos, con las dotaciones previstas que se describen en la [Tabla 4](#)~~Tabla 4~~~~Tabla 4~~.

⁴ Notas:

- Según figura en el Título de Asignación, *“La (s) concesión (es), asignación(es) y el (los) permisos de descarga de aguas residuales se otorga(n) por un plazo de 30 años a partir del 17 de diciembre de 2011”*.
- En el DOF 11/06/2014 En su CLÁUSULA OCTAVA, la Entidad Federativa se compromete a *“c) Solicitar previo a su vencimiento, o de conformidad con la normatividad que resulte aplicable, a “LA COMISIÓN” la prórroga al título de asignación de aguas nacionales.*

Tabla 4. Dotaciones per cápita previstas

Estado/Ciudad	Dotación prevista en:	Tipo de usuario	Litros/hab/día	Fuente
Querétaro	DOF 29/08/2013	Población urbana	200	Río Santa María 3 Río Extóraz
		Población rural	150	Río Moctezuma 1
Guanajuato	DOF 07/04/2014	Municipios con población < 50,000 habitantes	200	Río Santa María 2 Río Santa María 3 Río Victoria Río Extóraz
		Municipios con población entre 50,001 y 400,000 habitantes	250	
		Municipios con población > 400,000 habitantes	300	
Monterrey	MIA Proyecto Monterrey VI	ZMM	300	Río Pánuco 1

Nota: para Guanajuato el agua está destinada a varias ciudades de diferentes municipios.

El caso de Guanajuato es diferente en tanto que el agua no se destina a una sola ciudad sino a varios municipios, como se muestra en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Programa de abastecimiento del Pánuco a Guanajuato.

Cuenca hidrológica	Municipios para beneficiar	Año de entrada de la reserva y volúmenes en millones de metros cúbicos						Total
		2020	2030	2040	2050	2060	2070	
Río Santa María 2	Dolores Hidalgo, Ocampo, San Diego de la Unión y San Felipe	10.85	2.45	2.42	2.43	2.42	3.44	24.01
Río Santa María 3	Celaya, Irapuato, Salamanca, San José Iturbide, San Miguel de Allende, Valle de Santiago, Victoria y Xichú	45.62	16.74	16.01	15.94	17.44	27.22	138.97
Río Victoria	Doctor Mora, Santa Catarina y Tierra Blanca	1.95	0.30	0.31	0.33	0.33	0.33	3.55
Río Extóraz	Apaseo el Alto y Apaseo el Grande	6.75	1.70	1.69	1.69	1.68	1.67	15.18
Total		65.17	21.19	20.43	20.39	21.87	32.66	181.71

Fuente: DOF 07/04/2014

Suficiencia de agua y relación con las demandas

Las reservas y asignaciones que el gobierno federal otorga a los Estados se basan en los estudios de disponibilidad media anual, que son publicados oficialmente. Como se comenta antes, para la Subregión Hidrológica Río Pánuco de la Región Hidrológica número 26 Pánuco, se cuenta con dos estudios: uno del 2008 (DOF 21/01/2008) y otro del 2011 (DOF 18/07/2011), en los que se analizan la disponibilidad y el déficit para las diferentes cuencas que forman la subregión

hidrológica. Aunque en algunas de las cuencas la clasificación resultante es de déficit, para el total de la subregión del Pánuco, la clasificación es de disponibilidad.

Comparando el volumen medio anual de escurrimiento natural de toda la Subregión Hidrológica Río Pánuco de los dos estudios, se tiene que en tres años (2008-2011), el volumen se redujo en 593.92 Mm³. Lo anterior apunta a la necesidad monitorear a futuro el comportamiento de los escurrimientos.

Para entender el significado de las reservas en términos de disponibilidad de las cuencas que forman la Subregión Hidrológica del Pánuco, en la [Tabla 6](#) se contrastan los volúmenes reservados para Guanajuato y Querétaro con los datos publicados en el estudio de disponibilidad del 2011 (DOF 18/07/2011) antes referido.

Tabla 6. Volumen reservado de cuencas del Pánuco a Guanajuato y Querétaro.

Año	Estado	Volumen Reservado		Río	Disponibilidad (Mm ³)
2020	Gto	10.85 Mm ³ /año	0.34 m ³ /s	Río Santa María 2	47.81
	Gto	45.62 Mm ³ /año	1.45 m ³ /s	Río Santa María 3	364.31
	Gto	1.95 Mm ³ /año	0.06 m ³ /s	Río Victoria	5.36
	Gto	6.75 Mm ³ /año	0.21 m ³ /s	Río Extóraz	13.39
2021	Qro	158.00 Mm ³ /año	5.01 m ³ /s	Moctezuma 1	469.43
2030	Gto	2.45 Mm ³ /año	0.08 m ³ /s	Río Santa María 2	45.36
	Gto	16.74 Mm ³ /año	0.53 m ³ /s	Río Santa María 3	347.57
	Gto	0.3 Mm ³ /año	0.01 m ³ /s	Río Victoria	5.06
	Gto	1.7 Mm ³ /año	0.05 m ³ /s	Río Extóraz	11.69
2040	Gto	2.42 Mm ³ /año	0.08 m ³ /s	Río Santa María 2	42.94
	Gto	16.01 Mm ³ /año	0.51 m ³ /s	Río Santa María 3	331.56
	Gto	0.31 Mm ³ /año	0.01 m ³ /s	Río Victoria	4.75
	Gto	1.69 Mm ³ /año	0.05 m ³ /s	Río Extóraz	10
2050	Gto	2.43 Mm ³ /año	0.08 m ³ /s	Río Santa María 2	40.51
	Gto	15.94 Mm ³ /año	0.51 m ³ /s	Río Santa María 3	315.62
	Gto	0.33 Mm ³ /año	0.01 m ³ /s	Río Victoria	4.42
	Gto	1.69 Mm ³ /año	0.05 m ³ /s	Río Extóraz	8.31
2059	Qro	0.20 Mm ³ /año	0.01 m ³ /s	Río Extóraz	8.11
2060	Gto	2.42 Mm ³ /año	0.08 m ³ /s	Río Santa María 2	38.09
	Gto	17.44 Mm ³ /año	0.55 m ³ /s	Río Santa María 3	298.18
	Gto	0.33 Mm ³ /año	0.01 m ³ /s	Río Victoria	4.09
	Gto	1.68 Mm ³ /año	0.05 m ³ /s	Río Extóraz	6.43
2070	Gto	3.44 Mm ³ /año	0.11 m ³ /s	Río Santa María 2	34.65
	Gto	27.22 Mm ³ /año	0.86 m ³ /s	Río Santa María 3	270.96
	Gto	0.33 Mm ³ /año	0.01 m ³ /s	Río Victoria	3.76
	Gto	1.67 Mm ³ /año	0.05 m ³ /s	Río Extóraz	4.76
2080	Qro	158.00 Mm ³ /año	5.01 m ³ /s	Santa María 3	112.96
TOTAL:		497.91 Mm³/año	15.79 m³/s		

Fuente: Elaboración propia con base en el DOF 18/07/2011

En resumen, para las cinco cuencas que nutren al Pánuco, se tendrán extracciones que son superiores al 25% de la disponibilidad actual ([Tabla 7](#)).

Tabla 7. Disponibilidad de cuencas del Pánuco Vs Reservas para Querétaro y Guanajuato.

Cuenca	Disponibilidad (Mm ³ /año)	Extracción	Extracción (%)
	DOF. 18/07/2011		
Moctezuma 1	627.43	158.00	25%
Río Santa María 2	58.66	24.01	41%
Río Santa María 3	409.93	296.97	72%
Río Victoria	7.31	3.55	49%
Río Extóraz	20.14	15.38	76%

Para el caso de la cuenca del Pánuco, de donde se prevé el trasvase hacia Nuevo León, el balance hidrológico empleado para la realizar la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), (SADM, 2012), se resume en la [Tabla 8](#).

Tabla 8. Balance hidrológico empleado para el Proyecto Monterrey VI (DOF 18/07/2011).

Cálculo de disponibilidad superficial (Mm ³ /año)						
Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	CLASIFICACIÓN
184.69	12,184.43	404.57	257.46	96.05	0.00	Disponibilidad

Rxy						
Ev	Av	Ab		30%FM	Ab-Rxy	D
119.40	0.00	12,198.66	273.18	3,444.51	8,480.97	8,480.97

$$Ab = (Cp + Ar + R + Im) - (Uc + Ev + Ex + Av)$$

$$D = Ab - Rxy$$

Donde:

Cp = Volumen medio anual de escurrimiento

Ar = Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba

Uc = Volumen anual de extracción de agua superficial

R = Volumen anual de retornos

Im = Volumen anual de importaciones

Ex = Volumen anual de exportaciones

Ev = Volumen anual de evaporación en embalses

Av = Volumen anual de variación de almacenamiento en embalses

Ab = Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo

Rxy = Volumen anual actual comprometido aguas abajo

30%FM = Flujo mínimo para garantizar la estabilidad de los cauces, lagos y lagunas, para la protección de ecosistemas acuáticos y sus especies (DOF 26/03/1999)

Con base en estos datos se calcula en la MIA el caudal medio mensual resultante con una extracción de 15 m³/s ([Tabla 9](#)~~Tabla 9~~[Tabla 9](#)).

Tabla 9. Caudales/mes calculados para Monterrey VI.

Mes	Caudal medio mensual (m ³ /s)	Caudal medio resultante con Extracción de 15 (m ³ /s)
Enero	161.0105	146.0105
Febrero	135.9368	120.9368
Marzo	113.1226	98.1226
Abril	118.8768	103.8768
Mayo	141.0856	126.0856
Junio	375.1301	360.1301
Julio	691.2742	676.2742
Agosto	562.2352	547.2352
Septiembre	992.2470	977.2470
Octubre	838.6570	823.6570
Noviembre	341.9354	326.9354
Diciembre	217.9669	202.9669
Fuente: SADM (2012)		

A partir de este cálculo, la MIA concluye: *Por lo anterior, considerando el horizonte de extracción para 30 años, es decir, una extracción de 15 m³/s, la extracción del Proyecto sería de 473.04 millones de metros cúbicos anuales, lo cual representa aproximadamente el 6% del caudal anual disponible, por lo que en la cuenca, después de realizar la extracción, el caudal medio anual sería superior a los 8,000 millones de metros cúbicos, asegurando en todo momento mantenerse por arriba del 30% del flujo mínimo necesario para garantizar la estabilidad de los cauces, lagos y lagunas (SADM, 2012).*

Vale la pena señalar que este cálculo se realiza sobre los caudales medios mensuales. Sin embargo, los volúmenes no son disponibles en su totalidad, ya que se deben descontar las concesiones existentes aguas abajo, el caudal ecológico, las pérdidas por evaporación así como las exportaciones, y sumar los escurrimientos, retornos, importaciones, así como tomar en cuenta el volumen anual de variación de almacenamiento en embalses.

El ajuste de los valores de [Tabla 9](#)~~Tabla 9~~[Tabla 9](#), tomando en cuenta las variables anteriores, se muestran en la [Tabla 10](#)~~Tabla 10~~[Tabla 10](#). Como se observa los valores de disponibilidad resultante con la extracción de 15 m³/s son sensiblemente diferentes a los expuestos en la MIA del Proyecto Monterrey VI

Tabla 10. Balance intra-anual de aportaciones vs demandas con gastos medios mensuales.

MES	Q medio mensual (m ³ /s)	Q mensual (Cp) m ³ /s	Servicios	Agrícola	Otros	Suma	Retornos	Imp	Evap	Ab	Rxy	Decreto 1999 (Rxyec)	Disponibilidad	Disponibilidad final de agua Monterrey VI (5 m ³ /s)	Disponibilidad final de agua Monterrey VI (10m ³ /s)	Disponibilidad final de agua Monterrey VI (15m ³ /s)
												30 % FM	Ab-Rxy-30% FM			
Enero	158.09	2.40	9.81	3.63	0.14	13.58	8.41	4.11	2.86	156.56	9.17	54.46	92.93	88.03	83.12	78.21
Febrero	134.09	2.03	10.86	4.37	0.15	15.39	9.46	4.96	3.79	131.35	10.39	60.30	60.66	55.23	49.80	44.37
Marzo	110.81	1.68	9.81	6.15	0.14	16.10	9.43	6.97	4.92	107.87	10.87	54.46	42.54	37.63	32.72	27.82
Abril	116.44	1.76	10.14	6.50	0.14	16.79	9.81	7.37	5.78	112.82	11.33	56.28	45.21	40.14	35.07	30.00
Mayo	138.09	2.09	9.81	3.97	0.14	13.92	8.55	4.50	5.75	133.57	9.40	54.46	69.71	64.80	59.89	54.99
Junio	367.44	5.57	10.14	1.33	0.14	11.61	7.71	1.50	4.41	366.20	7.84	56.28	302.09	297.02	291.95	286.88
Julio	677.03	10.26	9.81	0.74	0.14	10.69	7.24	0.84	3.29	681.40	7.22	212.59	461.59	456.69	451.78	446.88
Agosto	548.93	8.32	9.81	1.84	0.14	11.79	7.69	2.09	3.22	552.02	7.96	212.59	331.47	326.56	321.65	316.75
Septiembre	973.33	14.75	10.14	0.62	0.14	10.90	7.42	0.70	3.01	982.30	7.36	219.67	755.27	750.20	745.14	740.07
Octubre	840.05	12.73	9.81	0.46	0.14	10.41	7.13	0.52	2.99	847.03	7.03	212.59	627.42	622.51	617.61	612.70
Noviembre	339.52	5.15	10.14	0.77	0.14	11.05	7.48	0.87	2.91	339.07	7.46	56.28	275.33	270.26	265.19	260.12
Diciembre	216.25	3.28	9.81	1.99	0.14	11.94	7.75	2.26	2.54	215.05	8.06	54.46	152.53	147.62	142.72	137.81
Vol Mm³	12,184.43	184.70	315.36	84.79	4.44	404.58	257.47	96.06	119.42	12,198.65	273.19	3,444.52	8,480.96	8,323.28	8,165.60	8,007.92

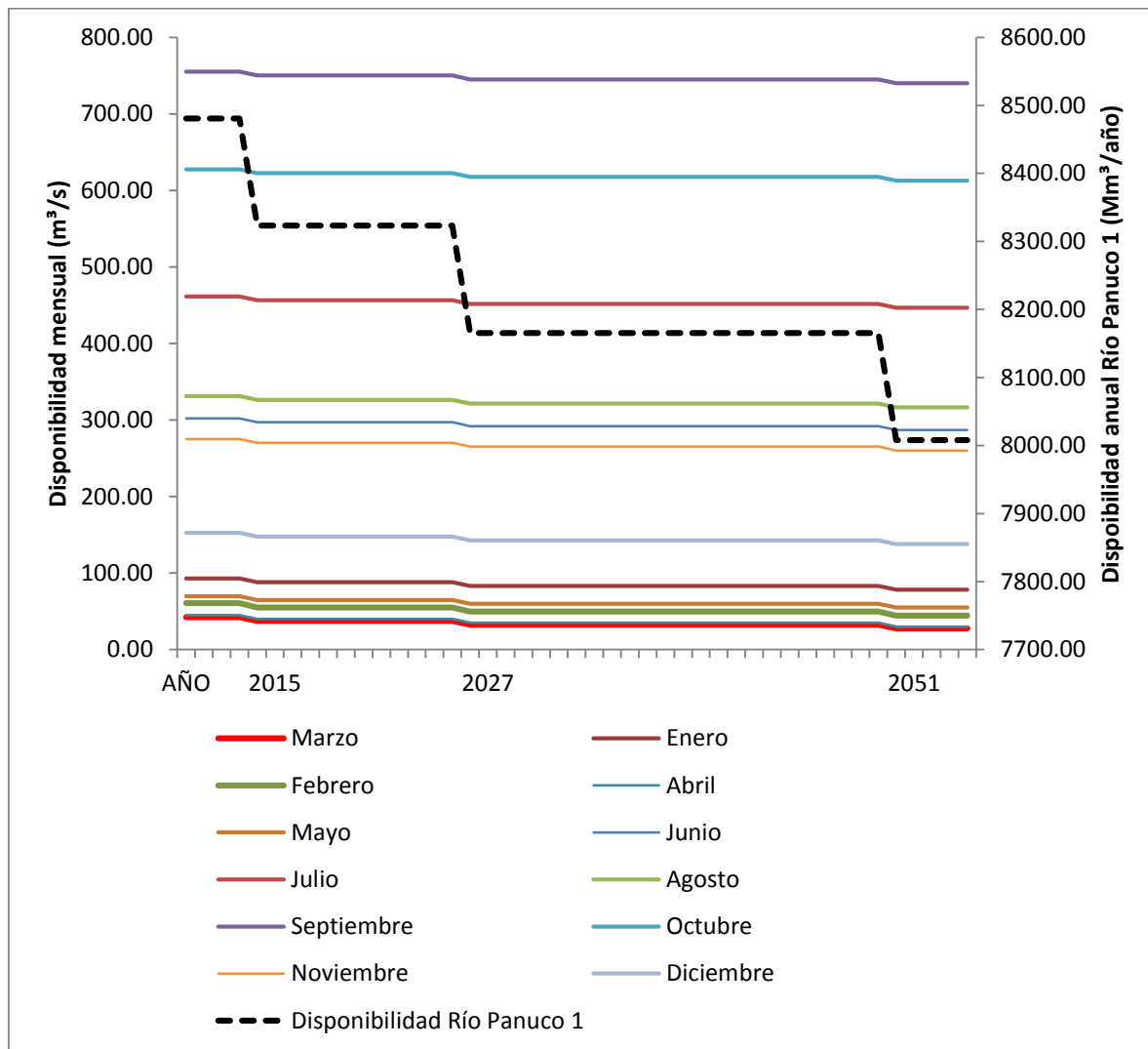
Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA. Minuta de trabajo entre The Nature Conservancy y la Comisión Nacional del Agua, 5 de marzo del 2015, en la que se define el alcance explicativo a la opinión técnica emitida por la Conagua en agosto del 2012 a la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto del Acueducto Monterrey VI.

Variaciones en la disponibilidad final para las diferentes etapas del Título de Asignación

En el Título de Asignación número 09SLP112912/26HAGC14 para explotar aguas nacionales superficiales otorgado por la Comisión Nacional de Agua a favor del Estado de Nuevo León, se establecen las siguientes etapas:

- Año 2015 al 2026: 5,000 lps
- Año 2027 al 2050: 10,000 lps
- Año 2051 en adelante: 15,000 lps

La distribución intra-anual de las disponibilidades para este periodo se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 2: Evolución de la disponibilidad media mensual. Periodo Actual a >2051

Como se puede observar, existen grandes contrastes entre los meses de estiaje y los de avenida, destacando la reducción en las disponibilidades medias para los meses de febrero a mayo.

Respecto a esta gran diferencia en la distribución intra-anual de la disponibilidad, en el Resolutivo Ambiental de la MIA del Proyecto Monterrey VI, emitido por la Semarnat (S.G.P.A. /DGIRA/D.G. 7256) de fecha 11 de Septiembre de 2012, el **Considerando IX: Opiniones recibidas**, indica lo siguiente: *se destaca por su importancia, la emitida por la Dirección General Técnica de la CONAGUA, que con base a los análisis realizados de los datos estadísticos registrados para la estación Las Adjuntas, estableció⁵:*

1. *“Que existe disponibilidad a nivel medio mensual en la cuenca denominada “Río Pánuco 1”, a partir de la Estación Hidrométrica Las Adjuntas y hasta la Estación Hidrométrica Río Pánuco. Asimismo, al considerar el volumen mensual de aprovechamiento para el proyecto Monterrey VI, se concluyó que normalmente no se presentarán afectaciones a los compromisos actuales, ni con lo establecido en el Decreto de Derogación de la Veda publicado en el DOF el 26 de marzo de 1999, en el que se incluyeron los flujos mínimos, no obstante, se recomienda que al presentarse gastos del orden de 28 m³/s, se deberá suspender la extracción del agua superficial para el proyecto Monterrey VI, con el propósito de cumplir con los flujos mínimos establecidos en el Decreto de 1999”(sic)*

Esta consideración realizada por la CONAGUA se recoge en el mencionado Resolutivo Ambiental (S.G.P.A. /DGIRA/D.G. 7256) en el apartado de **Condicionantes**:

3. *“Con base en los Considerandos VIII y IX del presente oficio resolutivo para la operación del **proyecto**, la **promovente** deberá respetar el gasto de extracción de 5 m³/s propuesto en la MIA-R para esta etapa del **proyecto** y caso de que en el cauce del río Pánuco disminuya el volumen de agua por debajo de los 28 m³/s, la **promovente** deberá suspender las actividades del **proyecto**, hasta en tanto el escurrimiento en el cauce no sobrepase el valor citado”*

Sin embargo, el valor de 28 m³/s no corresponde a los valores fijados como el flujo mínimo establecidos en el Decreto de 1999 (indicados en la Tabla 11).

⁵ S.G.P.A./DGIRA/D.G.7256

Tabla 11: Flujos mínimos Rio Pánuco 1 (Decreto 1999)

MES	DECRETO 1999 (Rxyec) 30 % FM
ENE	54.46
FEB	60.30
MAR	54.46
ABR	56.28
MAY	54.46
JUN	56.28
JUL	212.59
AGO	212.59
SEP	219.67
OCT	212.59
NOV	56.28
DIC	54.46
ANUAL Mm³/año	3,444.52

Para comprender el significado práctico de esta consideración, la Conagua y TNC mantuvieron una reunión de trabajo, en la que se definió el “**Alcance explicativo a la opinión técnica emitida en agosto del 2012 a la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto del Acueducto Monterrey VI**”, que es el siguiente:

“El umbral de 28 m³/s para suspender la operación del Acueducto Monterrey VI cuando suministre 15 m³/s durante los meses de flujos mínimos, resultó de restar a los volúmenes medios mensuales escurridos (Ab), el valor del caudal ecológico (30%FM) que protege los humedales de la cuenca baja del río Pánuco y los compromisos aguas abajo (Rxy)”.

“En otras palabras, si en la estación hidrométrica Las Adjuntas se mide un volumen acumulado de 40.2 millones de metros cúbicos durante 5 días consecutivos y el pronóstico no indica la probabilidad de sobrepasar dicho valor en los próximos 5 días, es necesario suspender la extracción”.

“Para una extracción de 5 m³/s correspondiente a la primera etapa de operación del Acueducto Monterrey VI, el umbral es un volumen de 35.9, millones de metros cúbicos acumulados en 5 días consecutivos en la estación hidrométrica Las Adjuntas y cuando el pronóstico hidrológico no indique una probabilidad de rebasar ese valor en los próximos 5 días, se deberá suspender la extracción del Acueducto Monterrey VI”

De este modo, el umbral de los 28 m³/s, representa los siguientes valores en la estación hidrométrica Las Adjuntas:

Tabla 12: Umbral de Parada. Volúmenes en la estación hidrométrica Las Adjuntas

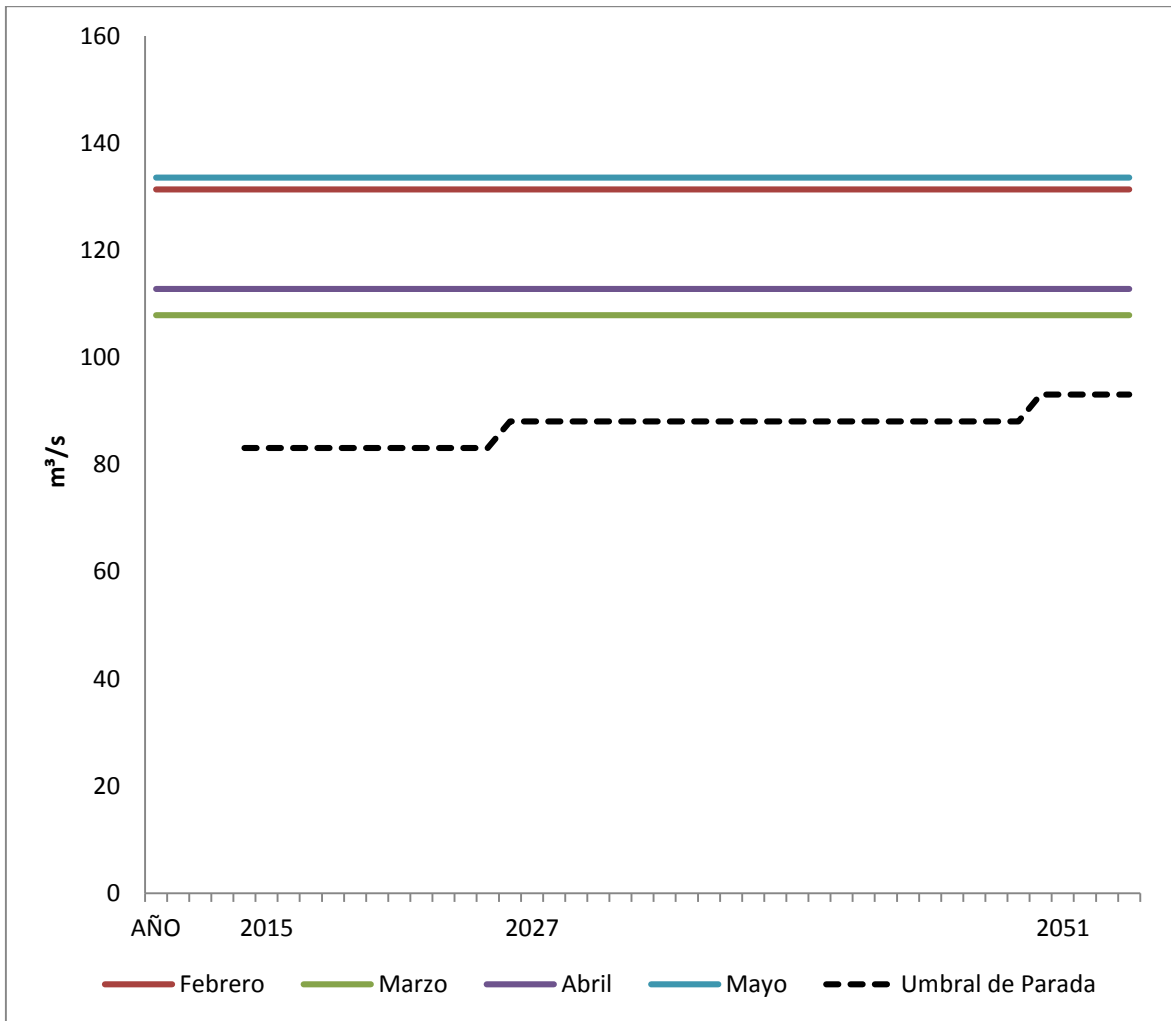
Umbral de Parada 28 m ³ /s	Volumen 5 días (Mm ³)	Volumen (m ³ /s)
Monterrey VI (5 m ³ /s)	35.90	83.10
*Monterrey VI (10 m ³ /s)	38.05	88.08
Monterrey VI (15 m ³ /s)	40.20	93.06
*Valor calculado (promedio ente 5 y 15 m ³ /s)		

En la MIA, se opta por el cálculo del caudal ecológico, según lo establecido en el Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-159-SCFI-2011, por el empleo de la Metodología Tennant.

En el Capítulo 3, Caudal Ecológico: Agua para la Naturaleza, de este Reporte se describen los resultados del análisis del caudal ecológico la MIA en relación a su significado ecológico *sensu stricto*. Sin embargo, por estar directamente relacionado con este punto, es importante hacer la siguiente consideración:

La metodología Tennant, define el **caudal base** como el que corresponde al caudal medio mensual mínimo y representa la aportación del acuífero a la corriente en estudio. Por lo tanto, el **caudal ecológico**, nunca debe ser inferior al **caudal base**. Para el río Pánuco 1, el valor del caudal base es de **99.5675 m³/s**, lo cual es superior al “umbral de parada” determinado por la CONAGUA, por lo que la elección de esta metodología para el cálculo, justificación y determinación del caudal ecológico no aplica para el caso de estudio. Debieran emplearse metodologías holísticas o hidrobiológicas para este fin.

Teniendo en cuenta estos valores para el **umbral de parada de la operación del acueducto Monterrey VI**, y su relación con los volúmenes medios mensuales escurridos (Ab) en los meses más secos de la época de estiaje (febrero a mayo), se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 3: Escurrecimientos medios mensuales (Ab) en la E.H. Las Adjuntas vs Umbral de Parada

Como se observa en la [Gráfica 3: Escurrecimientos medios mensuales \(Ab\) en la E.H. Las Adjuntas vs Umbral de Parada](#), los escurrimientos medios mensuales para el periodo más seco, se encuentran por encima del umbral de parada, por lo que, en principio, no debería haber afectaciones al bombeo continuo del Acueducto Monterrey VI.

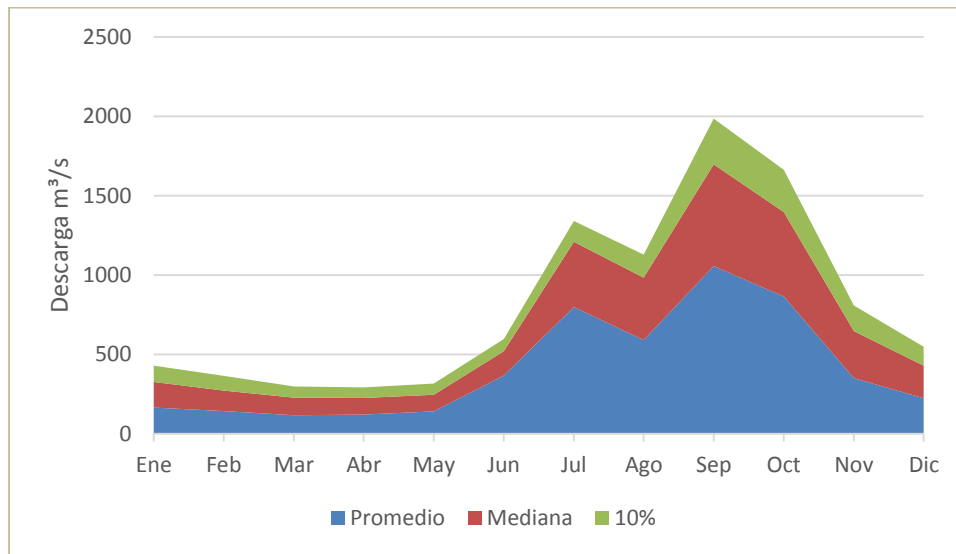
La segunda observación relevante es que, para el mes de marzo (el más seco), la diferencia entre el umbral de parada y los escurrimientos medios mensuales es de 24.77 m³/s para la primera etapa (bombeo de 5 m³/s), de 19.79 m³/s cuando se trasvasen 10 m³/s y de sólo 14.81 m³/s cuando se ejecute en su totalidad el Título de Asignación (año 2051).

Aprovechamiento de estructuras de regulación

Los escurrimientos naturales y la disponibilidad media de las cuencas de los ríos y arroyos de la región hidrológica del Río Pánuco presentan una clara diferencia estacional a lo largo del año, con marcadas variaciones en épocas de estiaje y avenidas.

De las estaciones hidrométricas cercanas a la obra de toma, la denominada Las Adjuntas es la más cercana al punto de extracción y tiene el registro de flujo más largo y completo, por lo que los datos que arroja sobre el caudal del río y otras variables hidrométricas pueden considerarse válidos para entender las variaciones estacionales, mismas que se confirman con las bases de datos de la Unidad Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS, 2015), del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

El marcado patrón de estacionalidad de las lluvias con marcadas diferencias entre los meses de noviembre a julio (secas) y de julio a octubre (lluvias), se muestra en la [Gráfica 1](#)[Gráfica 1](#)[Gráfica 1](#). La distribución estacional de las lluvias se refleja en el volumen de escorrentía del río, que presenta variaciones claras: de agosto a octubre los flujos son más elevados; de noviembre a enero estos disminuyen y de marzo a mayo se presentan los menores flujos.



Gráfica 4. Flujos de la estación hidrométrica Las Adjuntas (media, mediana y percentil del 10%)

Para minimizar el riesgo en la operación del acueducto que supone las variaciones anteriores, especialmente en época de sequía, así como la disminución de la disponibilidad por las concesiones de agua reservadas para Querétaro y Guanajuato, se propone conocer las características de las infraestructuras de regulación existentes, para lograr la regulación anual.

Para lo anterior se identificaron y mapearon las estructuras existentes de regulación con base en el inventario de presas de la Conagua (2014). La información derivada del inventario es de 505 estructuras inventariadas (embalses, lagunas, etc.), con un volumen útil de 3,917.00 Mm³ en el área de influencia (aguas arriba de la obra de toma). De estas 505 estructuras, 23 tienen una

capacidad de almacenamiento superior a 10 Mm³, sumando un volumen útil de 3,606.00 Mm³ que corresponde al 92% de la capacidad de regulación total ([Tabla 13](#)~~Tabla 13~~~~Tabla 13~~ y Figura 3).

Si se toman en cuenta sólo las estructuras con capacidad de almacenamiento superior a los 50 Mm³, aparecen 10 grandes embalses y lagunas, con un volumen útil de 3,328.00 Mm³ (85% de la capacidad de regulación total). Con estos 10 grandes embalses y lagunas, pese a encontrarse en la cabecera y alejados del tramo de toma, parece posible realizar una regulación adicional en los meses deficitarios del escenario para el trasvase de Monterrey VI. No obstante, lo anterior debería confirmarse con el análisis de regulación del organismo competente, en la redacción de un plan hidrológico de esta región.

Tabla 13. Grandes estructuras de regulación aguas arriba de la Obra de Toma.

Nombre oficial	Nombre común	Estado	Municipio	Región Conagua	Cuenca	Cauce	Volumen útil (Mm ³)
Laguna Metzititlán	Coateno	Hidalgo	Metzititlán	Golfo Norte	Río Metzititlán 2	R. Metzititlán	1,800.000
Ing. Fernando Hiriart Balderrama	Zimapán	Hidalgo	Zimapán	Golfo Norte	Embalse Zimapán	R. Moctezuma	930.000
Endhó	Endhó	Hidalgo	Tepetitlán	Aguas del Valle de México	Presa Endhó	R. Tula	174.547
Laguna de Zumpango	Laguna de Zumpango	Estado de México	Zumpango	Aguas del Valle de México	Cd. De México	Lat. Río Cuautitlán	100.000
Constitución de 1917	Hidalgo	Querétaro	San Juan del río	Golfo Norte	Río Galindo	A. El caracol	65.000
San Ildefonso	El tepozán	Querétaro	Amealco de Bonfil	Golfo Norte	Río San Juan 1	R. Prieto	52.700
Requena	Requena	Hidalgo	Tula de allende	Aguas del Valle de México	Presa Requena	R. Tepeji	52.500
Guadalupe	Guadalupe	Estado de México	Cuautitlán Izcalli	Aguas del Valle de México	Río Cuautitlán	R. Cuautitlán	52.211
Taxhimay	Taxhimay	Estado de México	Villa del Carbón	Aguas del Valle de México	Presa Requena	R. S Luis de las peras	50.600
El Realito	Realito	Guanajuato	San Luis de la paz Pánuco	Golfo Norte	Río Santa María 1	R. Santa María	50.000

Fuente: Inventario de Presas, Conagua (2014)

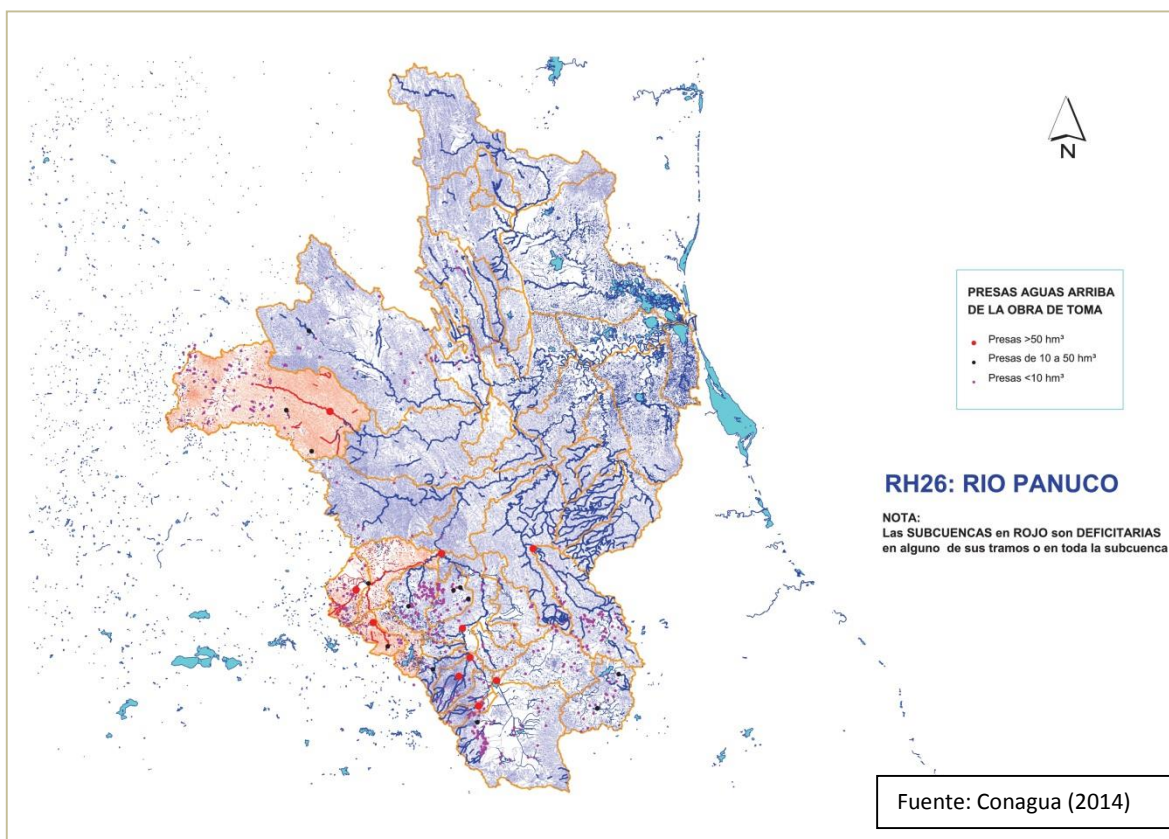


Figura 3: Localización de estructuras de regulación aguas arriba de la obra de toma

Para poder analizar de manera correcta el esquema de regulación hidrológica y su suficiencia se precisaría disponer, detalladamente, de las series de aportación hídrica en régimen natural, así como de las características definitorias de las presas de regulación existentes en la actualidad y sus reglas de explotación habituales.

El Pánuco y las reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México

En Junio de 2011 la Conagua publicó el estudio *“Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México”* (Conagua, 2011). Este estudio identifica las zonas del país con disponibilidad de agua y que por su riqueza biológica, importancia ecológica y presiones hídricas menores presentan condiciones favorables para establecer reservas de agua que garanticen los flujos para la protección ecológica, en los términos de la Ley de Aguas Nacionales.

Para localizar las reservas potenciales de agua (RPA), se trabajó con tres escenarios de decisión denominados: valoración lineal, árbol de decisiones y valoración ponderada. Los resultados de la valoración abarcan un intervalo de 5 a -1. El valor 5 representa a las unidades de gestión con disponibilidad de agua superficial, con presencia de veda, importantes para la conservación por tener sitios Ramsar, áreas naturales protegidas (ANP) y vacíos de conservación de ecosistemas acuáticos epicontinental, sin presencia de ninguna presión. El valor -1 representa aquellas

unidades de gestión con una disponibilidad positiva, que no presentan un interés para la conservación y se encuentran bajo fuerte presión. Para la cuenca del Pánuco se identificaron 17 ríos con una calificación promedio de 3 puntos (Conagua, 2011), como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 14. Listado propuesto de reservas potenciales de agua.

Clave de región hidrológica	Cuenca	Unidad de gestión	Calificación	Factibilidad	Superficie (km ²)	Disponibilidad (Mm ³)*
3	Río Pánuco	Río Santa María 3	4.75	Muy Alta	3,900.70	635.40
12	Río Pánuco	Río Verde 3	3.75	Alta	3,000.50	159.10
12	Río Pánuco	Río Santa María 2	3.75	Alta	2,708.70	140.20
17	Río Pánuco	Río Tampaón 1	3.5	Alta	1,266.60	3,660.40
19	Río Pánuco	Río Claro	3.5	Alta	1,756.50	303.30
19	Río Pánuco	Río Los Hules	3.5	Alta	1,269.90	608.00
26	Río Pánuco	Río El Salto	3	Media	2,356.20	572.70
30	Río Pánuco	Río Chicayán 2	2.75	Media	1,549.40	481.30
30	Río Pánuco	Río Moctezuma 2	2.75	Media	989.00	1,148.50
30	Río Pánuco	Río Comandante 1	2.5	Media	2,493.20	90.80
30	Río Pánuco	Río Tantoán	2.5	Media	610.40	42.90
30	Río Pánuco	Río Pánuco 2	2.5	Media	955.80	13,940.00
30	Río Pánuco	Río Moctezuma 3	2.5	Media	1,530.90	4,071.70
30	Río Pánuco	Río Huichihuayán	2.5	Media	991.30	592.10
30	Río Pánuco	Río Tempoal 2	2.5	Media	964.00	1,909.90
30	Río Pánuco	Río Tancuilín	2.5	Media	331.30	298.70
30	Río Pánuco	Río Calabozo	2.5	Media	1,480.30	725.90
*Disponibilidad publicada para la unidad de gestión en su estudio de disponibilidad						
Fuente: Conagua (2011)						

Con esta propuesta se lograrían resultados sin precedentes por parte del Gobierno de México para conservar la rica biodiversidad del país, ya que se garantizaría la funcionalidad ecológica (en términos de su hidrología) en 97 ANP (50% del total) y 55 humedales (41% del total) con importancia internacional bajo la Convención Ramsar. Además, añadiría una superficie adicional de 78,568 km² a la estrategia nacional de conservación de la biodiversidad, que actualmente no cuentan con ningún instrumento de protección en el ámbito federal (Conagua, 2011).

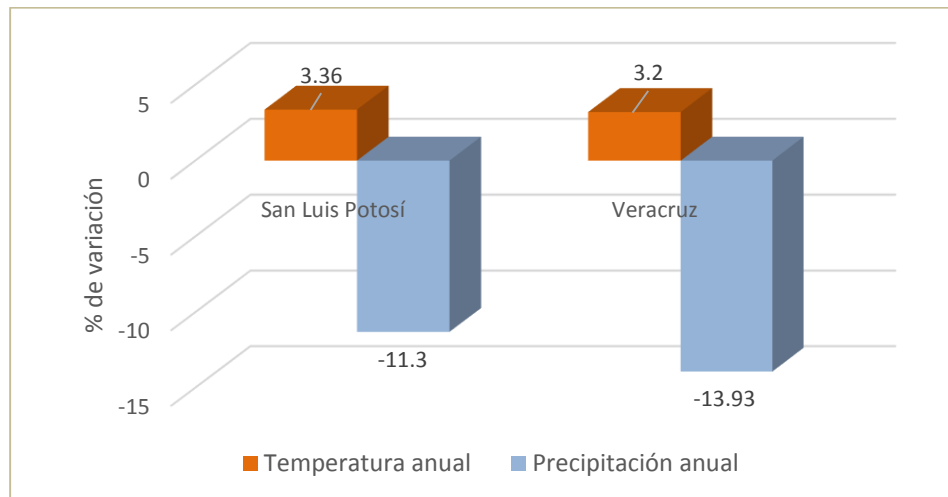
Debe reconocerse que la creación de reservas requiere de flexibilidad para no comprometer la disponibilidad de agua para la población bajo escenarios de escasez, y mejorar las condiciones de equidad en el acceso al recurso. También se necesitan estrategias eficaces para manejar la demanda del recurso, tales como las que han sido planteadas en la Agenda del Agua 2030. Ambas condiciones se reconocen como elementos indispensables de una gestión adaptativa del agua (Conagua, 2011).

La iniciativa de reservas de agua para el medio ambiente es prometedora para la conservación de ecosistemas y sus servicios ambientales. Por ello, vale la pena fortalecer los esfuerzos para medir con la mejor precisión posible los caudales ecológicos, y conocer las variaciones de disponibilidad, en función de extracciones previstas actuales y futuros. En este sentido, el caso del Pánuco podría tomarse como proyecto piloto.

Cambio climático y disponibilidad de agua

El agua es el medio principal a través del cual el cambio climático hará sentir sus efectos sobre las personas, los ecosistemas y las economías. Los patrones cambiantes e irregulares de la precipitación de los caudales de los ríos afectarán a todos los usuarios del agua. Por ende, la gestión de recursos hídricos debería constituir un enfoque preventivo para la adaptación al cambio climático. Si bien la relación entre el aumento de las temperaturas y los cambios en la precipitación ha sido demostrada exhaustivamente, no sucede lo mismo en el caso de los efectos sobre los caudales de los ríos y la recarga de las aguas subterráneas (Grey y Sadoff, 2007).

Para los estados de San Luis Potosí y Veracruz, las proyecciones climáticas regionalizadas de precipitación y temperatura muestran incrementos de temperatura y una importante disminución en la precipitación en estas entidades para finales del presente siglo como se observa en la Gráfica 5 (con base en Montero *et al.*, 2010).

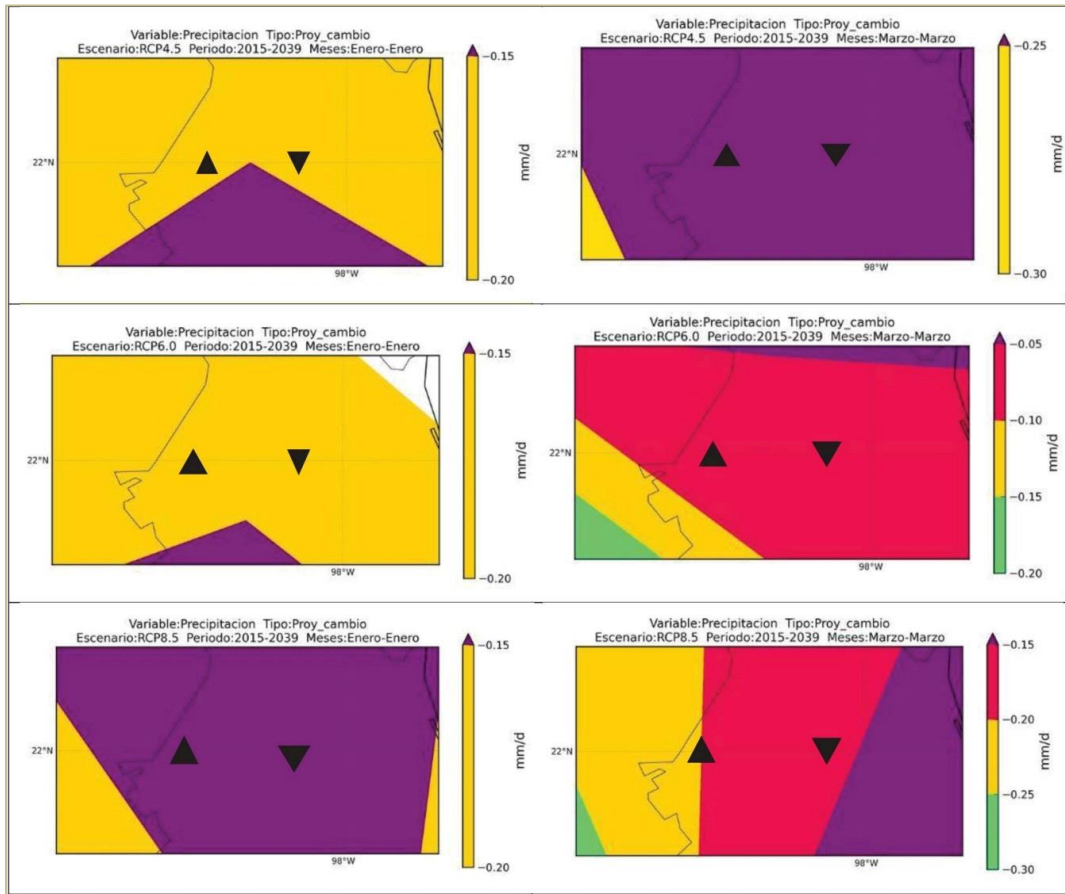


Gráfica 5: Porcentajes de variación en precipitaciones (mm) y temperatura (°C) esperados en San Luis Potosí y Veracruz.

Estos cambios significarán, invariablemente, menores escurrimientos, y el incremento de la temperatura, mayor evaporación. Ambas condiciones sumadas resultarán en menor disponibilidad real de agua. Los cambios no esperarán hasta finales de siglo para operar, y se presentarán también en la cuenca baja del Pánuco, como muestran los diferentes estudios realizados en esta región:

- Análisis preliminar del impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en la cuenca media del Río Pánuco (Sánchez *et al.*, 2013) de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Modelación de la disponibilidad de agua en la cuenca del Río Guayalejo-Tamesí (Sánchez *et al.*, 2008 y 2011) del Instituto Nacional de Ecología.
- Informe sobre cambio climático y consideraciones para apoyar políticas de adaptación en los consejos de cuenca en México. Estudio de caso: Comisión de Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí (Sánchez *et al.*, 2008a).
- Disponibilidad de agua en la cuenca del Río Tamesí ante escenarios de cambio climático (García-Betancourt *et al.*, 2013) de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Estudios de investigación para caracterizar las regiones del país en función del cambio climático, incluyendo mapas asociados (Conagua, 2012a).

En el documento elaborado por Sánchez *et al.* (2013) se considera un área de estudio ubicada entre los 22.5° latitud máxima, 21.5° latitud mínima -97.5° longitud máxima y -99.0° longitud mínima. Dentro de esta área se localizan las EH Las Adjuntas, con coordenadas 21.975° latitud norte y -98.5667° longitud oeste, y la EH Pánuco DGE, con coordenadas 22.0592° latitud norte y -98.1756° longitud oeste. Tomando en cuenta los datos que el INECC puso a disposición del público en junio de 2013 en el portal de internet de nuevos escenarios de cambio climático (Cavazos *et al.*, 2013), el usuario puede obtener las anomalías y proyecciones totales de cambio en la temperatura y precipitación para todo el territorio de México. Para el área de estudio de los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 se pueden generar mapas de anomalías de precipitación para el período 2015 – 2039 (futuro cercano). Estos resultados se muestran en las Figura 4, Figura 5 y Figura 6, así como en las Tablas [Tabla 15](#)~~Tabla 15~~~~Tabla 15~~, [Tabla 16](#)~~Tabla 16~~~~Tabla 16~~ y [Tabla 17](#)~~Tabla 17~~~~Tabla 17~~, tomadas de Sánchez *et al.* (2013).



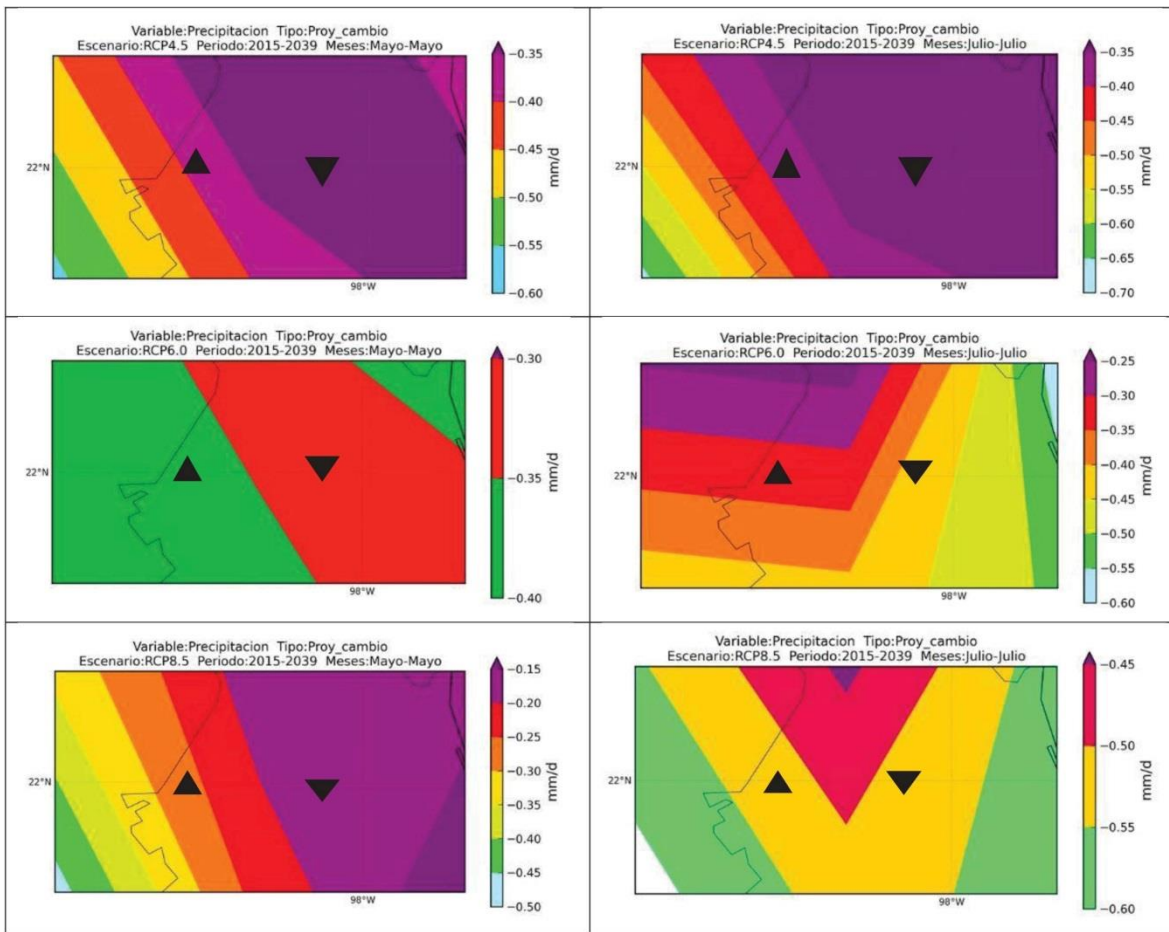
▲ EH Las Adjuntas ▼ EH Pánuco Fuente: Sánchez et al. (2013)

Figura 4. Anomalías de precipitación de enero a marzo para los escenarios RCP 4.5, RCP6.0 y RCP8.5.

Tabla 15. Anomalías de precipitación para los meses de enero y marzo, para los tres escenarios RCP y para el futuro cercano (2015-2039).

Escenario	Enero					Marzo				
	PCP CRU, mm	Anomalía de Precipitación			Proy. CRU, mm	PCP CRU, mm	Anomalía de Precipitación			Proy. CRU, mm
		mm/d	mm	%			mm/d	mm	%	
RCP4.5	31.0	-0.17	-5.27	-17%	25.7	24.8	-0.22	-6.82	-27.50%	18.0
RCP6.0	31.0	-0.17	-5.27	-17%	25.7	24.8	-0.07	-2.17	-8.75%	22.6
RCP8.5	31.0	-0.15	-4.65	-15%	26.4	24.8	-0.20	-6.20	-25.00%	18.6

Fuente: Sánchez et al. (2013)



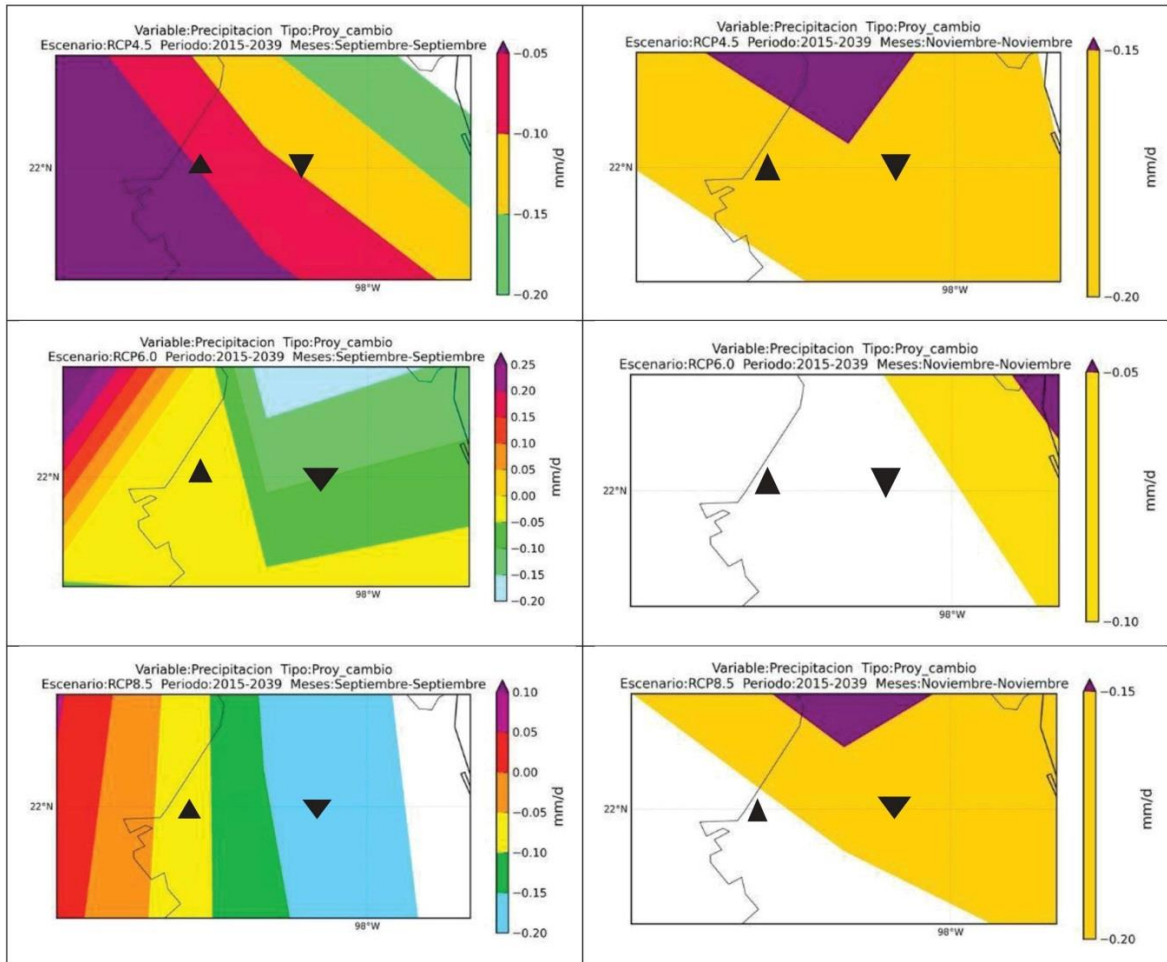
▲ EH Las Adjuntas ▼ EH Pánuco Fuente: Sánchez et al. (2013)

Figura 5. Anomalías de precipitación en mayo y julio para los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5

Tabla 16. Anomalías de precipitación para los meses de mayo y julio, para los tres escenarios RCP.

Escenario	Mayo					Julio				
	PCP CRU, mm	Anomalía de Precipitación			Proy. CRU, mm	PCP CRU, mm	Anomalía de Precipitación			Proy. CRU, mm
		mm/d	mm	%			mm/d	mm	%	
RCP4.5	80.6	-0.37	-11.47	-14.23%	69.1	170.5	-0.37	-11.47	-6.73%	159.0
RCP6.0	80.6	-0.35	-10.85	-13.46%	69.8	170.5	-0.40	-12.40	-7.27%	158.1
RCP8.5	80.6	-0.25	-7.75	-9.62%	72.9	170.5	-0.52	-16.12	-9.45%	154.4

Fuente: Sánchez et al. (2013)



▲ EH Las Adjuntas ▼ EH Pánuco Fuente: Sánchez *et al.* (2013)

Figura 6. Anomalías de precipitación en septiembre y noviembre para los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5

Tabla 17. Anomalías de precipitación para los meses de septiembre y noviembre, para los tres escenarios RCP.

Escenario	Septiembre					Noviembre				
	PCP CRU, mm	Anomalía de Precipitación			Proy. CRU, mm	PCP CRU, mm	Anomalía de Precipitación			Proy. CRU, mm
		mm/d	mm	%			mm/d	mm	%	
RCP4.5	294.0	-0.10	-3.00	-1.02%	291.0	60.0	-0.17	-5.10	-8.50%	54.9
RCP6.0	294.0	-0.05	-1.50	-0.51%	292.5	60.0	-0.12	-3.60	-6.00%	56.4
RCP8.5	294.0	-0.12	-3.60	-1.22%	290.4	60.0	-0.20	-6.00	-10.00%	54.0

Fuente: Sánchez *et al.* (2013)

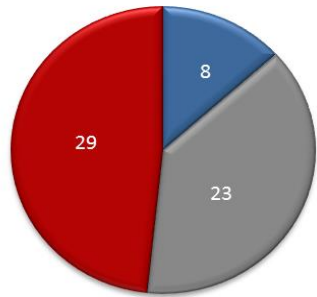
Considerando que el objetivo del trabajo realizado por Sánchez *et al.* (2013) fue llevar a cabo un estudio preliminar (de corta duración) de la modelación de disponibilidad de agua y del impacto del cambio climático sobre ésta, se asumió la existencia de una relación lineal entre las proyecciones de precipitación y el escurrimiento que se puede presentar en el área de estudio. Cabe mencionar que dicha relación no es precisamente lineal.

Respecto al documento “*Modelación de la disponibilidad de agua en la cuenca del Río Guayalejo-Tamesí, Tamaulipas,*” realizado por Sánchez *et al.* (2008), presentado en la Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2008, se realiza el siguiente resumen: *los resultados de la simulación de escenarios de cambio climático para la cuenca Guayalejo – Tamesí estiman que se esperan años secos y muy secos en los próximos 50 años, que eventualmente pueden afectar la disponibilidad de agua de diversas maneras. Dada la cercanía de la cuenca señalada con la cuenca del Pánuco, los resultados advierten que en la zona noroeste del país es probable esperar menor disponibilidad de agua.*

A continuación se muestra el ejercicio realizado por Sánchez *et al.* (2008), previo al proyecto Monterrey VI. En los ejercicios se muestran tres enfoques; cada uno con cuatro escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (A2, B2, B1, A1B). Con base en ellos determinan la proporción de tres modalidades en un horizonte de 60 años a partir de 2010: años sin cambios (normales), años secos y muy secos.

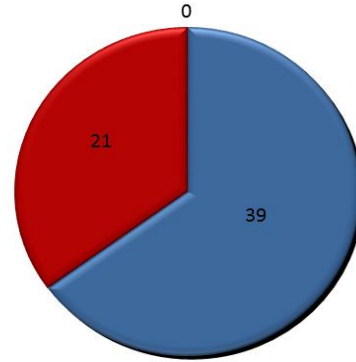
En las Figuras 7, 8 y 9 se muestran dos modelos – el UKHADGEM3 y el modelo Echam (MPIECH-5) – que señalan los extremos anticipados con base en el registro de años con mayor probabilidad de sequía. Si bien el alcance del trabajo de investigación es más amplio, aquí solamente se señala la proporción de años secos y años muy secos.

Como puede observarse en la Figura 7, existen valores esperados que señalan que habrá periodos secos (23 años) y muy secos (29 años) en el horizonte estimado al año 2069. La Figura 8 muestra, con base en la relación precipitación/temperatura, que se esperan 39 años dentro del rango normal y 21 años muy secos para el mismo horizonte. En el tercer escenario (Figura 9), el resultado es más extremo: poco más del 70% de los años esperados corresponde a la modalidad de “muy secos.”



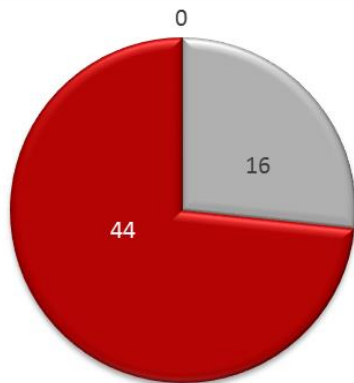
■ normal ■ seco ■ muy seco

Figura 7. Modelo UKHADGEM con el escenario "A2" de número de años secos y muy secos en el periodo 2010 - 2069



■ normal ■ seco ■ muy seco

Figura 8. Modelo UKHADGEM "A1B" de número de años secos y muy secos en el periodo 2010-2069



■ normal ■ seco ■ muy seco

Figura 9. Modelo Echam: número de años secos y muy secos en el periodo 2010-2069

Fuente: Sánchez *et al.* (2008)

Dada la cercanía de la cuenca Guayalejo – Tamesí (sobre la que se realizaron los modelos anteriores), a la región del proyecto Monterrey VI, es previsible que las probabilidades de ocurrencia de años secos y años muy secos sean similares.

Por tal motivo los valores calculados por Sánchez *et al.*, (2013), referentes a la disminución de precipitaciones son únicamente representativos para el área estudiada en su análisis; zona que alberga los Distritos de Riego Pujal Coy y Chicayán. Es manifiesto que dicha reducción en las precipitaciones provocará un aumento en las necesidades de riego de los cultivos y por lo tanto incrementará la demanda de agua para los mismos.

Los siguientes estudios llegan a resultados similares:

- Informe sobre cambio climático y consideraciones para apoyar políticas de adaptación en los consejos de cuenca en México. Estudio de caso: Comisión de Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí (Sánchez *et al.*, 2008a).
- Disponibilidad de agua en la cuenca del Río Tamesí ante escenarios de cambio climático (García-Betancourt *et al.*, 2013) de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Las conclusiones de los estudios arriba mencionados se resumen a continuación:

“Con base en los resultados obtenidos de este estudio se puede concluir que aún sin considerar los impactos negativos del cambio climático, los sectores urbano, rural y agrícola en la cuenca del Río Guayalejo-Tamesí pueden experimentar problemas de escasez de agua, especialmente el sector agrícola, si se sigue operando el sistema de derechos de agua e infraestructura hidráulica en la forma en cómo actualmente se está haciendo” (Sánchez *et al.*, 2008a).

“Con base en los resultados de este estudio se puede concluir que los tres principales usuarios del recurso hídrico en la cuenca del Río Tamesí van a experimentar problemas de escasez de agua, especialmente el sector agrícola, y dentro de este sector el DR Las Ánimas será el que presente mayor falta de cobertura. Cabe mencionar que el escenario modelado describe un rápido crecimiento económico e introducción de nuevas y más eficientes tecnologías, con un balance entre todas las fuentes de energía. Finalmente, si se sigue operando el sistema de derechos de agua como hasta ahora se ha venido manejando en la cuenca la falta de disponibilidad de agua se verá incrementada fuertemente” (García-Betancourt *et al.*, 2013).

Si bien el proyecto Monterrey VI no toma agua de la cuenca del Río Tamesí, al localizarse la Obra de Toma aguas arriba de su desembocadura en el Río Pánuco, se debería considerar el escenario del incremento en la demanda sobre esta zona situada en la Región Hidrológica desde la cual se realizará el trasvase (RH26-Río Pánuco).

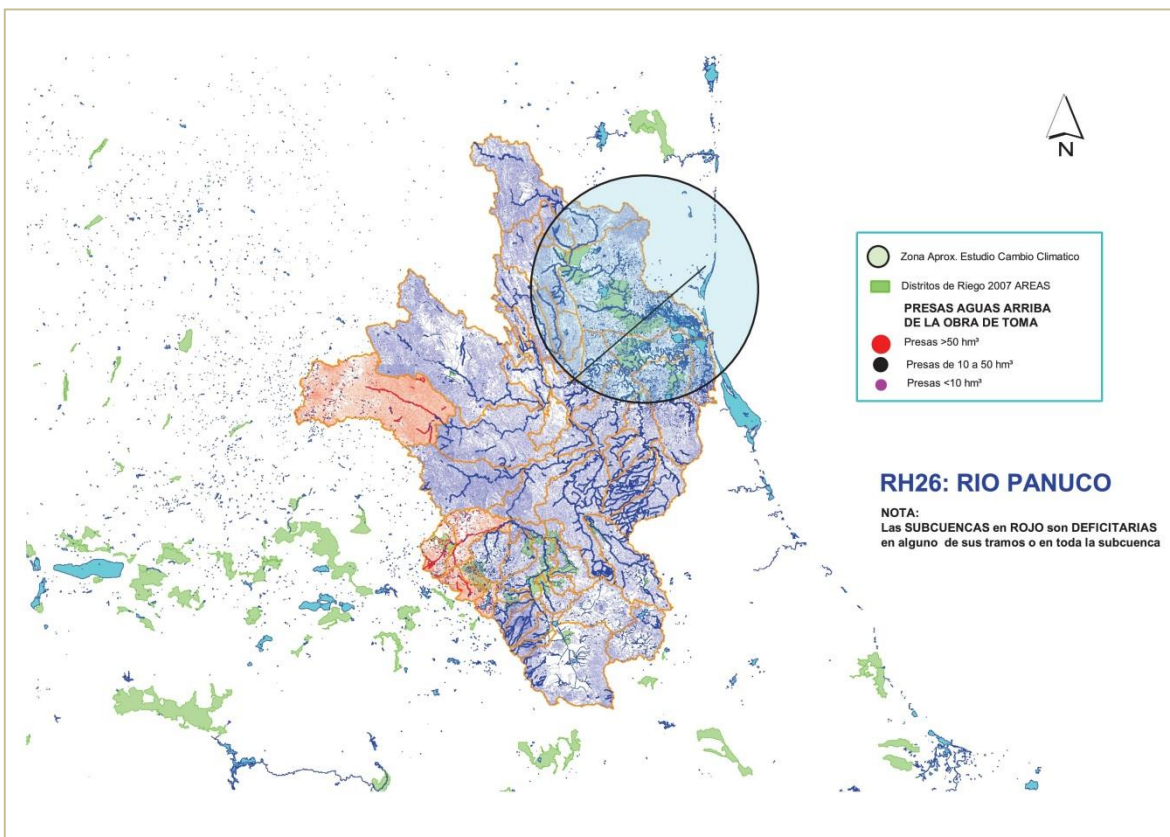


Figura 10. Área del estudio de cambio climático de García Betancourt et al, 2013

Por lo específico del área de estudio en relación con el trabajo que nos ocupa, consideramos que es de especial interés el documento *“Estudios de investigación para caracterizar a las regiones del país en función del cambio climático, incluyendo los mapas asociados”* (Conagua, 2012a). El análisis de dicho documento se muestra a continuación:

La zona de estudio Región IX: Golfo Norte, tiene una superficie de 126,800 km² (6% del territorio nacional), que incluye 154 municipios de los Estados de Tamaulipas, Veracruz, Querétaro, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí y Nuevo León.



Figura 11. Territorio y estados que conforman la RHA IX: Golfo Norte

Las proyecciones sugieren que la temperatura aumentará 1°C en el futuro cercano y 3°C hacia finales del presente siglo. Esto llevará a un aumento importante en la evapotranspiración potencial, que puede repercutir en una disminución de la disponibilidad de agua. La importancia de los ciclones tropicales sobre el balance hídrico regional provoca que, aunque las proyecciones sugieran disminuciones de lluvias, la confianza en dichas proyecciones sea baja (Conagua, 2012a).

A este respecto, cabe señalar que según los datos del referido informe, el escurrimiento superficial de la cuenca del río Pánuco es de 19,286 Mm³/año (no figura el año de referencia). Sin embargo, este valor en el año 2008 fue de 19,155 Mm³/año (D.O.F. 21/01/2008) y en el año 2011 descendió hasta los 18,561 Mm³/año (D.O.F. 18/07/2011).

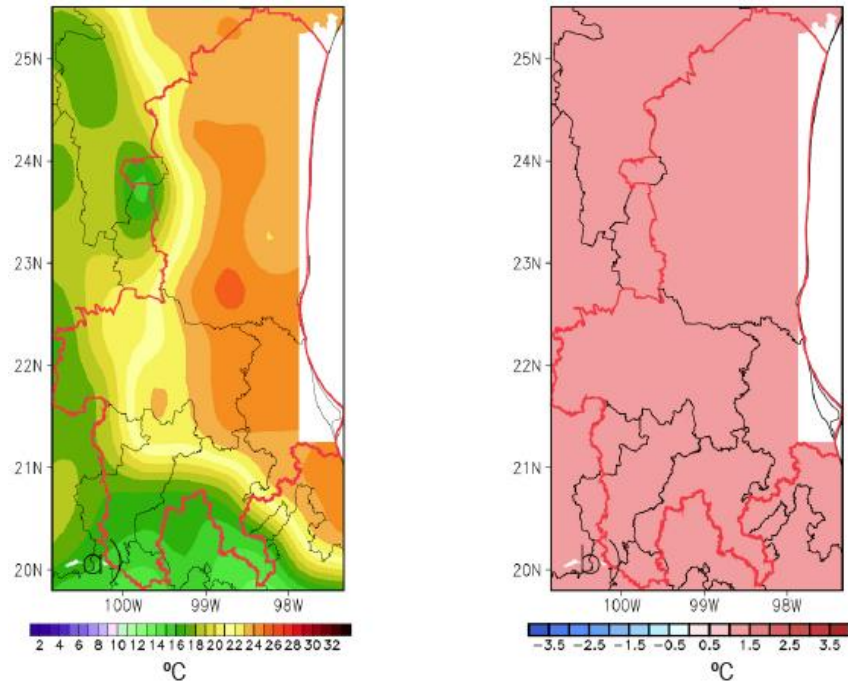


Figura 12. Condición observada actual de temperatura promedio anual y simulación 2015-2039
Fuente: Conagua (2012a)

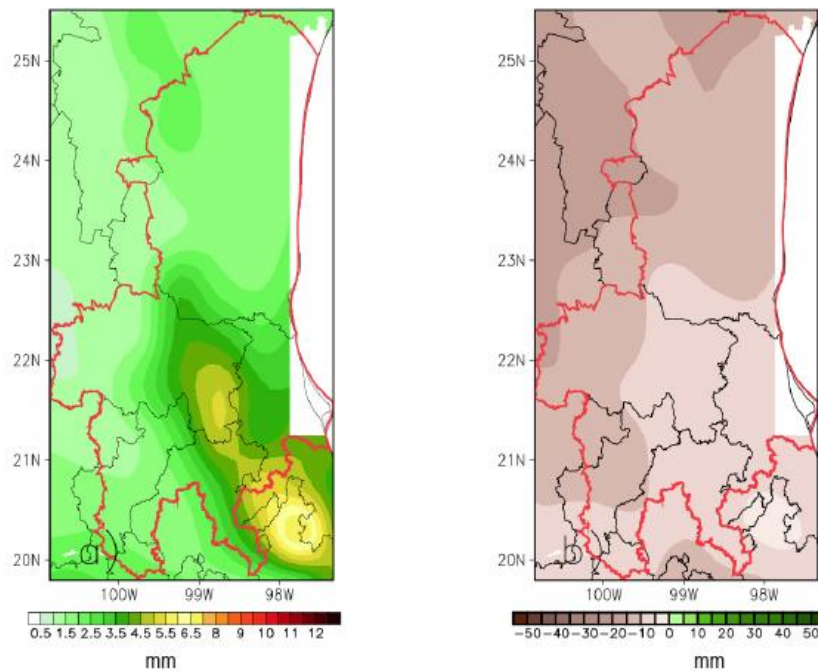


Figura 13. Condición observada actual de precipitación promedio anual y simulación para el futuro cercano (2015-2039)
Fuente: Conagua (2012a)

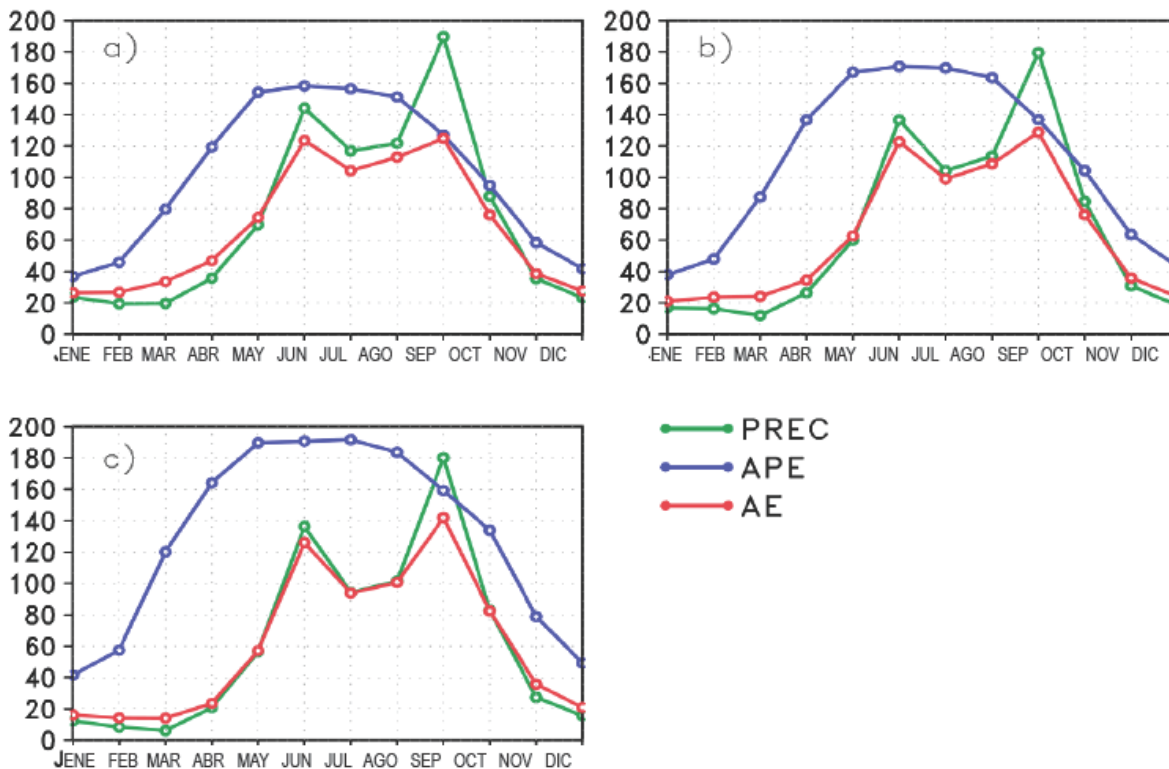
Con respecto al balance hídrico, mediante el programa WATBUG (Willmott, 1977) y partiendo de los datos obtenidos para las variaciones de la temperatura y la precipitación, se estimaron los cambios en la evapotranspiración y, con ello, las posibles afectaciones a la disponibilidad de agua en la región.

Los valores de la hipótesis figuran en la [Tabla 18](#) y los resultados obtenidos se reproducen en las Gráfica 6.

Tabla 18. Cambio proyectado (con respecto al clima presente) de temperatura (T) en °C y precipitación (P) en %.

ΔT (2015-2039)	ΔT (2075-2098)	ΔP (2015-2039)	ΔP (2075-2098)
1.0	4.0	-7.0	-12.0

Fuente: Conagua (2012a)



Gráfica 6: Ciclo anual de precipitación

(Línea verde, que se traspone con la roja), evapotranspiración potencial (línea azul) y evapotranspiración real (línea roja) (mm) para el clima a) presente (SP), b) futuro cercano (SN) y c) futuro lejano (SF) para la RHA I

Fuente: Conagua (2012a)

En el estudio realizado sobre la vulnerabilidad de las regiones hidrológicas en México, bajo algunos escenarios de cambio climático al año 2050, en los cuales se construyen diferentes índices de vulnerabilidad, se concluye que la cuenca del Pánuco es una de las cuencas más vulnerables a los efectos del cambio climático proyectado y su tendencia es a ser una región cada vez más seca. Se concluye también que todos los escenarios proyectan una alta vulnerabilidad en la disponibilidad de agua para el riego, pudiéndose convertir la irrigación en un factor limitante en el sector agrícola en algunas zonas de la cuenca del Río Pánuco (Mendoza, *et al.*, 1997).

Los principales problemas identificados por la Conagua en relación a la situación de los recursos hídricos de la cuenca del río Pánuco se resumen en la [Tabla 19](#) ~~Tabla 19~~ [Tabla 19](#).

Tabla 19. Problemática de los recursos hídricos de la cuenca del río Pánuco.

Problemática	Causas	Efectos
Escasez	La disponibilidad del agua superficial está comprometida, especialmente en época de estiaje.	Existe disponibilidad media anual, pero problemas de déficit en el estiaje, lo que genera una fuerte competencia entre sectores de usuarios.
Sobreexplotación de acuíferos	Baja disponibilidad de aguas subterráneas.	Sobreexplotación, particularmente en los acuíferos de los Estados de Querétaro, Guanajuato y San Luis.
Uso ineficiente del recurso	Ineficiencia del uso del agua en la agricultura. Poca cultura del cuidado del agua.	Reducción de la disponibilidad y la distribución del recurso.
Calidad del agua	Infraestructura de saneamiento insuficiente. Aguas residuales descargadas por los núcleos urbanos.	Evita el reúso del líquido en otros aprovechamientos. Adicionalmente afecta el ecosistema, limita el uso en actividades rentables y disminuye la calidad de vida de los habitantes.
Inundaciones	Fenómenos hidrometeorológicos extremos (huracanes y nortes). Falta de infraestructura para el control de avenidas.	Grandes pérdidas económicas y afectaciones a las actividades productivas de todos los sectores económicos.

Fuente: Conagua (2012a)

Por otra parte, el “Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional Hídrico 2014-2018” (DOF 08/04/2014), precisa que los resultados de varios estudios realizados sobre la vulnerabilidad en aspectos agrícolas, de calidad del agua, escurrimiento superficial, aguas subterráneas, impacto social y de eventos extremos, indican que el escurrimiento tenderá a disminuir hasta en un 7% para el año 2030 en algunas regiones hidrológicas bajo condiciones de cambio climático.

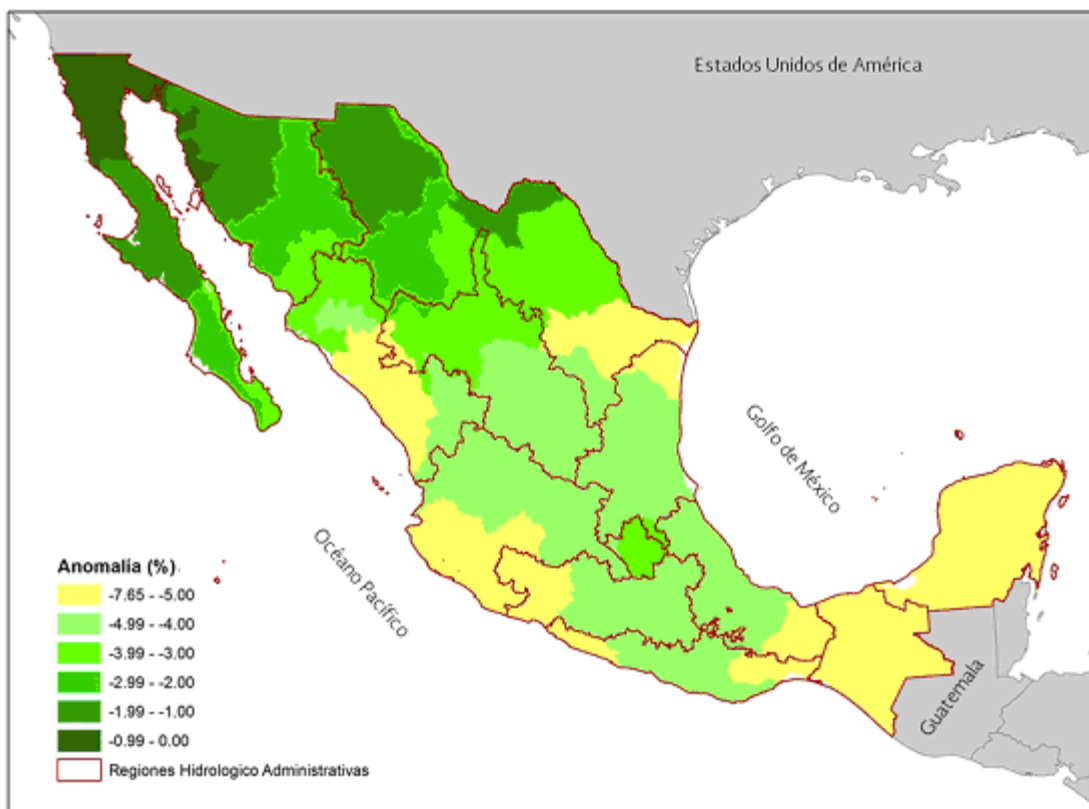


Figura 14. Anomalía del escurrimiento medio anual para el año 2030

Fuente: IMTA. En: DOF 08/04/2014

Para la RH 26 se prevé, para el año 2030, una anomalía en los escurrimientos medios de -4.00 a -4.99%. Si se realiza el mismo cálculo hidrológico de disponibilidades de agua para el proyecto Monterrey VI, teniendo en cuenta esta anomalía en los escurrimientos se obtienen los resultados mostrados en la [Tabla 20](#)~~Tabla 20~~~~Tabla 20~~:

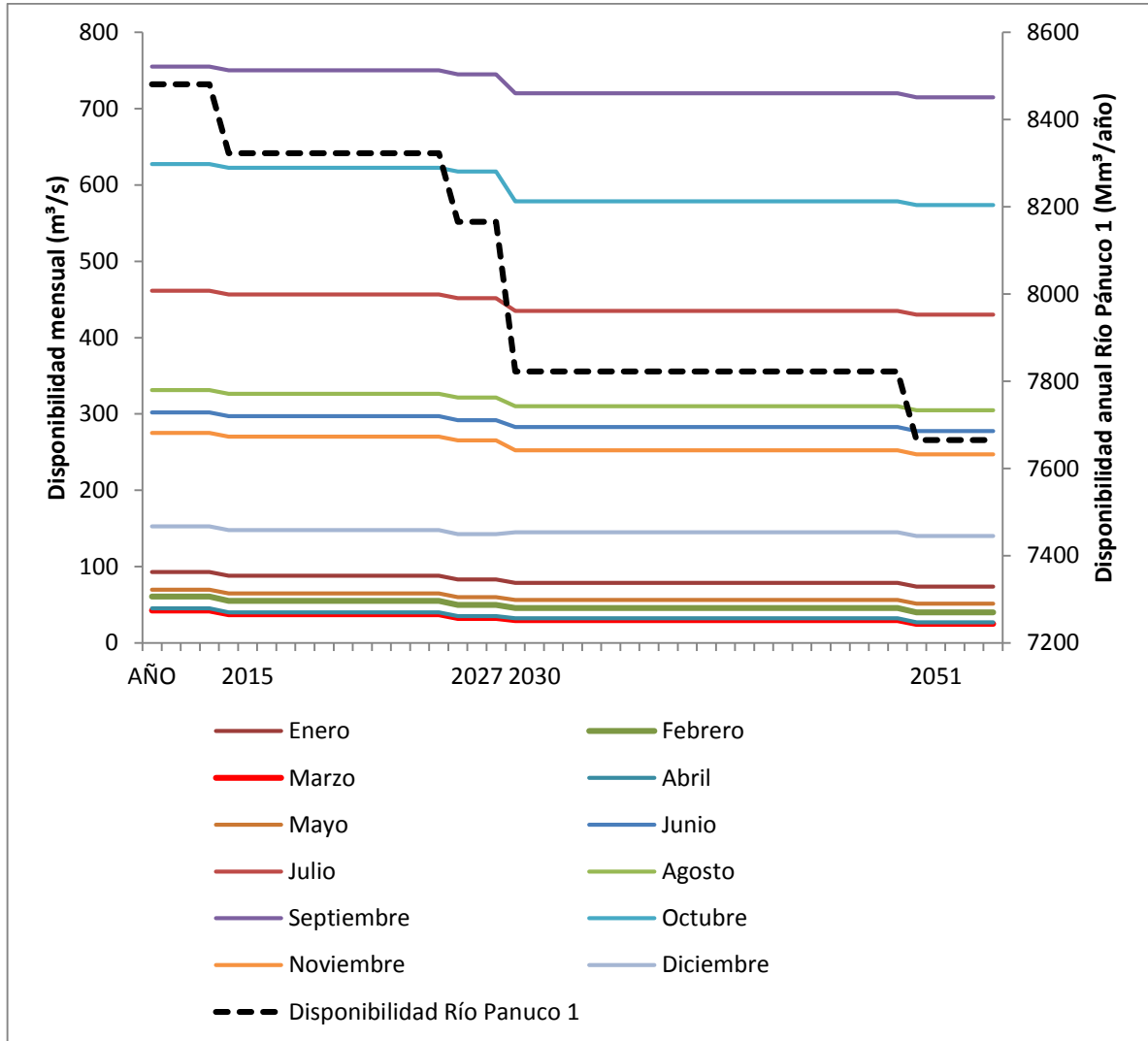
Tabla 20: Balance intra-anual de aportaciones vs demandas con gastos medios mensuales. Con la hipótesis de Cambio Climático

MES	Q medio mensual (m³/s)	Hipótesis Cambio Climático 2030. Q medio mensual reducido en 4.5% (m³/s)	Q mensual (Cp) m³/s	Servicios	Agrícola	Otros	Suma	Retornos	Imp	Evap	Ab	Rxy	Decreto 1999 (Rxyec) 30 % FM	Disponibilidad Ab-Rxy-30% FM	Hipótesis Cambio Climático 2030. Disponibilidad preliminar de agua (m³/s)	Disponibilidad final de agua Monterrey VI (5 m³/s)	Disponibilidad final de agua Monterrey VI (10m³/s)	Disponibilidad final de agua Monterrey VI (15m³/s)
Enero	158.09	153.76	2.40	9.81	3.63	0.14	13.58	8.41	4.11	2.86	156.56	9.17	54.46	92.93	88.61	88.03	83.12	78.21
Febrero	134.09	129.80	2.03	10.86	4.37	0.15	15.39	9.46	4.96	3.79	131.35	10.39	60.30	60.66	56.38	55.23	49.80	44.37
Marzo	110.81	108.04	1.68	9.81	6.15	0.14	16.10	9.43	6.97	4.92	107.87	10.87	54.46	42.54	39.76	37.63	32.72	27.82
Abril	116.44	113.53	1.76	10.14	6.50	0.14	16.79	9.81	7.37	5.78	112.82	11.33	56.28	45.21	42.30	40.14	35.07	30.00
Mayo	138.09	134.65	2.09	9.81	3.97	0.14	13.92	8.55	4.50	5.75	133.57	9.40	54.46	69.71	66.26	64.80	59.89	54.99
Junio	367.44	358.26	5.57	10.14	1.33	0.14	11.61	7.71	1.50	4.41	366.20	7.84	56.28	302.09	292.91	297.02	291.95	286.88
Julio	677.03	660.12	10.26	9.81	0.74	0.14	10.69	7.24	0.84	3.29	681.40	7.22	212.59	461.59	444.69	456.69	451.78	446.88
Agosto	548.93	537.22	8.32	9.81	1.84	0.14	11.79	7.69	2.09	3.22	552.02	7.96	212.59	331.47	319.75	326.56	321.65	316.75
Septiembre	973.33	948.27	14.75	10.14	0.62	0.14	10.90	7.42	0.70	3.01	982.30	7.36	219.67	755.27	730.21	750.20	745.14	740.07
Octubre	840.05	801.12	12.73	9.81	0.46	0.14	10.41	7.13	0.52	2.99	847.03	7.03	212.59	627.42	588.49	622.51	617.61	612.70
Noviembre	339.52	326.56	5.15	10.14	0.77	0.14	11.05	7.48	0.87	2.91	339.07	7.46	56.28	275.33	262.36	270.26	265.19	260.12
Diciembre	216.25	218.67	3.28	9.81	1.99	0.14	11.94	7.75	2.26	2.54	215.05	8.06	54.46	152.53	154.94	147.62	142.72	137.81
Vol Mm³	12,184.43	11,841.46	184.70	315.36	84.79	4.44	404.58	257.47	96.06	119.42	12,198.65	273.19	3,444.52	8,480.96	8,137.98	8,323.28	8,165.60	8,007.92

Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA. Minuta de trabajo entre The Nature Conservancy y la Comisión Nacional del Agua, 5 de marzo del 2015, en la que se define el alcance explicativo a la opinión técnica emitida por la Conagua en agosto del 2012 a la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto del Acueducto Monterrey VI.

Variaciones en la disponibilidad final para las diferentes etapas del Título de Asignación bajo la hipótesis de Cambio Climático

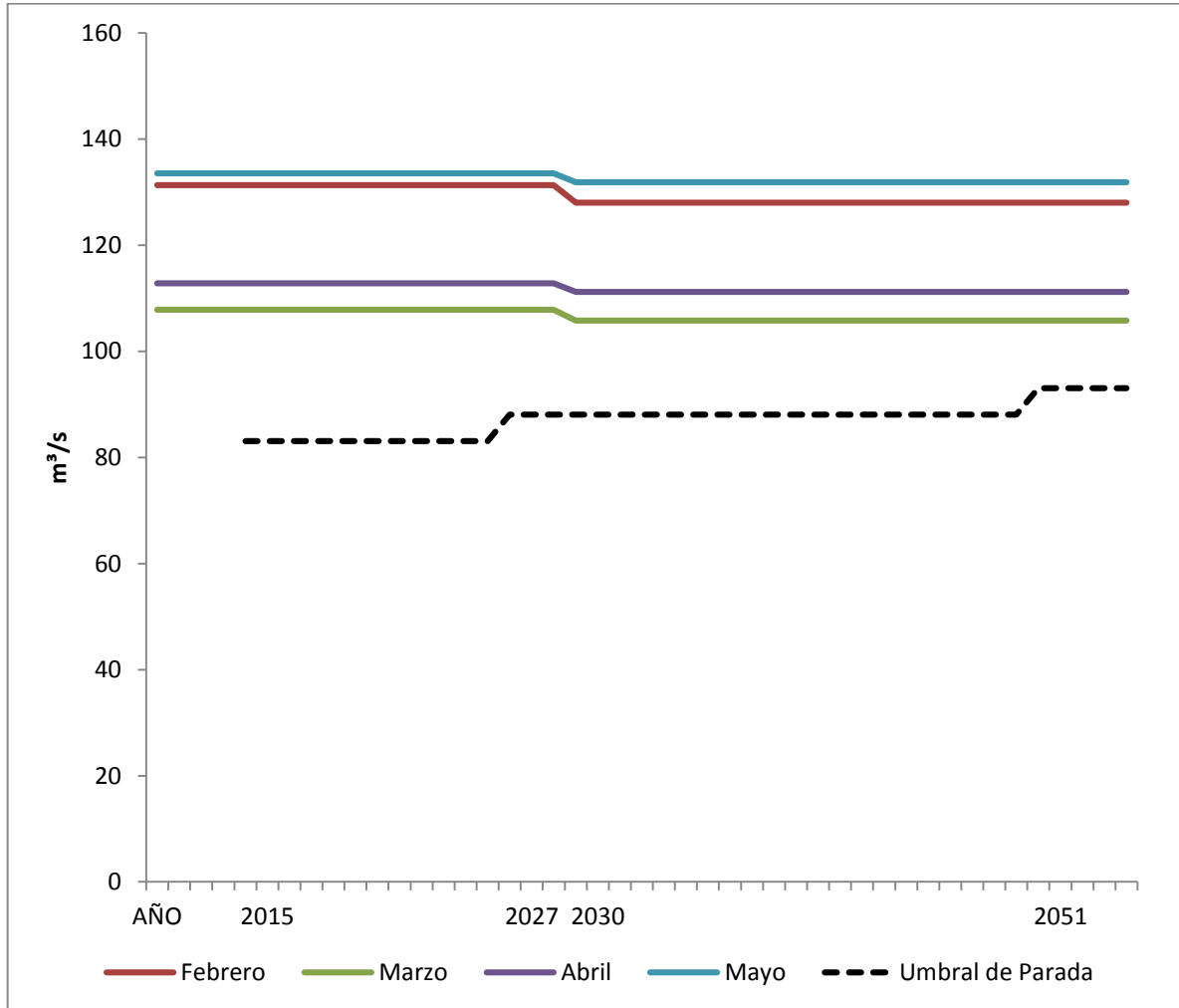
Bajo esta hipótesis de cambio climático, con una reducción media en los escurrimientos del 4.5%, La distribución intra-anual de las disponibilidades para las diferentes fases de extracción de agua contenidas en el Título de Asignación se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 7: Evolución de la disponibilidad media mensual. Periodo Actual a >2051 Bajo la hipótesis de Cambio Climático

Con este escenario se observa una sensible reducción de las disponibilidades con relación a la Gráfica 2, como consecuencia de la disminución de los escurrimientos.

Si realizamos la gráfica para los cuatro meses más secos del periodo de estiaje (febrero a mayo) relacionando el **umbral de parada**, con los volúmenes medios mensuales escurridos (Ab) en la hipótesis de Cambio Climático, se obtiene el siguiente resultado:



Gráfica 8: Ecurrimientos medios mensuales (Ab) en la E.H. Las Adjuntas Vs Umbral de Parada en la hipótesis de Cambio Climático.

Se observa un acercamiento entre los valores del escurrimiento medio mensual (Ab) y el umbral de parada, que para el mes de marzo es de tan sólo 12.77 m³/s a partir del año 2051, de 17.75 m³/s para la segunda etapa del proyecto, cuando se estén bombeando 10 m³/s.

Dado este estrecho margen, junto a la consideración de los volúmenes concesionados y reservados para los estados de Guanajuato y Querétaro, se recomienda, además del monitoreo de flujos, analizar esquemas de regulación para garantizar la disponibilidad de agua a futuro.

Conclusiones

Los estudios técnicos muestran la disponibilidad global de la región hidrológica del Río Pánuco, hasta hace cuatro años (2011). Para garantizar que el Proyecto Monterrey cumpla su propósito a largo plazo, de tener una oferta garantizada de agua sin que dependa de las fluctuaciones anuales de disponibilidad en los años secos, se recomienda tomar en cuenta las siguientes características hidrológicas del Pánuco:

- i) En tres años (2008-2011), el volumen medio anual de escurrimiento natural de la región hidrológica se redujo en 593.92 Mm³.
- ii) En la cuenca del Pánuco 1, sitio de extracción para Monterrey VI, la disponibilidad se redujo, en los mismos tres años, en 3,000 Millones de metros cúbicos, esto es, a un ritmo de 1,235 Mm³/año. En 34 de los 35 ríos de la subregión del bajo Pánuco, la disponibilidad se redujo, en el mismo periodo (2008-2001), en 28.6% en promedio. Sólo en el río Tantoán la disponibilidad aumentó en estos años (4.3%).
- iii) El Pánuco tiene concesiones de aguas superficiales reservadas para otras entidades, que sumadas a la asignación para Monterrey VI, llegarán en el 2080, a 971.27 Mm³ anuales. Con ello, en cinco cuencas que nutren al Pánuco, se tendrán extracciones superiores al 25% de la disponibilidad actual.
- iv) Los escurrimientos naturales y la disponibilidad media de las cuencas de los ríos y arroyos de la región hidrológica del Río Pánuco presentan una clara diferencia estacional a lo largo del año, que se presenta también en la estación hidrométrica Las Adjuntas, la más cercana al punto de extracción del acueducto.
- v) Es pertinente revisar las implicaciones derivadas del empleo del método Tennant de la MIA sobre la disponibilidad, en tanto sus resultados contrastan con los datos actuales de la Conagua.
- vi) Diversos escenarios de cambio climático coinciden en un patrón que ha comenzado a operar: disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura que se traducen en reducción de la disponibilidad de agua. Bajo el escenario más conservador de cambio climático, se prevé una anomalía en los escurrimientos medios de la Región Hidrológica del Río Pánuco de - 4 a 4.99% en el futuro cercano (2030).
- vii) De acuerdo a la Conagua, el río Pánuco tiene un problema de escasez, cuya causa es que: *“La disponibilidad del agua superficial está comprometida, especialmente en época de estiaje”* y sus efectos son: *“Existe disponibilidad media anual, pero problemas de déficit en el estiaje generan una fuerte competencia entre sectores de usuarios”*⁶.

⁶ Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2012. Estudios de investigación para caracterizar las regiones del país en función del cambio climático, incluyendo los mapas asociados. Cd. De México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para minimizar el riesgo que estos compromisos pudiesen significar para la operación de Monterrey VI en épocas de estiaje, y la disminución potencial de la disponibilidad por efecto de cambio climático, es importante realizar un estudio para definir el potencial de utilización de la infraestructura de regulación existente. Adicionalmente, esta opción debe confirmarse con el uso y regulación de estos cuerpos de agua y tener un plan hidrológico regional que sume a los Estados de México, Hidalgo, Querétaro y Guanajuato).

Referencias

- Arcos E. G., Medina S. R., Méndez I. F., y Jiménez. S., (2008). Estudio de la cuña salina: río Pánuco, México. Ingeniería hidráulica en México, vol. XXIII, núm. 3, pp. 77-88, julio-septiembre de 2008.
- Benavides Osorio E.R., C.M. (s.f.) Análisis preliminar simplificado de disponibilidad de agua en el río Pánuco. Sustentabilidad hidrológica proyecto Monterrey VI. Colegio Mexicano de Ingenieros y Arquitectos A.C.
<http://www.anamty.org/system/images/111/original/Memoria%20analisis%20preliminar%20disponibilidad%20de%20agua%20rio%20panuco%20-%20copia.pdf?1418402518>
- Buenfil Friedman J. (2009) Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. ISBN: 978-968-817-928-4.
http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=609
- Cavazos, T., Salinas J. A., Martínez B., Colorado G., de Grau P., Prieto González R., Conde Álvarez A. C., Quintanar Isaías A., Santana Sepúlveda J. S., Romero Centeno R., Maya Magaña M. E., Rosario de La Cruz J. G., Ayala Enríquez Ma. Del R, Carrillo Tlazazanatza H., Santiesteban O. y Bravo M.E. (2013) Actualización De Escenarios De Cambio Climático Para México Como Parte De Los Productos De La Quinta Comunicación Nacional. Informe Final del Proyecto al INECC, 150 pp. Con resultados disponibles en: <http://escenarios.inecc.gob.mx/index2.html>
- Colegio Mexicano de Ingenieros Civiles, CMIC (2014) Bases al concurso público para la adjudicación del contrato de asociación público privada para la prestación del servicio de entrega de agua en bloque del acueducto Monterrey VI con gasto de extracción de 5 m³/s a la zona conurbada de Monterrey, Nuevo León, México, que incluye la captación y conducción de agua, bajo la modalidad de precio fijo. Concurso no. APP-919043988-C3-2014. El estado de Nuevo León, a través de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D.
http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/Bases%20Previas%20de%20Licitaci%C3%B3n/Bases%20Licitaciones/Marzo/CONCURSO_Acueducto_Monterrey_VI/01%20BASES.pd
- Conagua (2011) Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. Gerencia de Ingeniería y Normas Técnicas de la

Subdirección

General

Técnica.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGT-3-11Media.pdf>

Conagua (2012) Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, Miércoles 17 de abril de 2002. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=62&n3=92>

Conagua (2012a) Estudios de investigación para caracterizar las regiones del país en función del cambio climático, incluyendo los mapas asociados. IX Golfo Norte. Cd. De México. Comisión Nacional del Agua Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=56&n3=335&n4=294>

Conagua (2013) Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía. Consejo de Cuenca Río Pánuco. 1ª Versión. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/IMTA_CONAGUA%20Cuenca%20R%C3%Ado%20P%C3%A1nuco%20salida.pdf

Conagua (2014) Sistema de Seguridad de Presas. Inventario de Presas (información se en constante proceso de verificación y actualización). Comisión Nacional del Agua Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://201.116.60.136/inventario/hinicio.aspx>

Cotler H., Garrido A., Bunge V., Cuevas M. L. (2010) Las Cuencas Hidrográficas De México: priorización y toma de decisiones. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/priorizacion.pdf>

DOF 26/03/1999. Decreto por el que se suprime parcialmente la veda por tiempo indefinido para el otorgamiento de concesiones y asignaciones para los aprovechamientos de las aguas en las cuencas de los ríos Metztlán, Moctezuma, Tempoal, Verde, Santa María, Tampaón, Guayalejo y Tamesí-Chicayán”, expedido por el Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, mismo que suprime parcialmente la veda por tiempo indefinido para otorgar concesiones y asignaciones en dichos ríos, señalando que la Comisión Nacional del Agua sólo podrá concesionar o asignar el 70% de los volúmenes disponibles de agua obtenidos en los estudios técnicos descritos en el párrafo que antecede; reservando el 30% restante de las aguas disponibles para garantizar los flujos mínimos que requiera la estabilidad de los cauces, lagos, lagunas, humedales, esteros, así como la protección de ecosistemas acuáticos y sus especies.

DOF 21/01/2008. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Arroyo Zarco, Río Ñadó, Río Galindo, Río San Juan 1, Río Tecozautla, Río San Juan 2, Río Grande de Tulancingo, Río Metztlán 1, Río Metzquitlán, Río Metztlán 2, Río Amajaque, Río Claro, Río Amajac, Río Calabozo, Río Hules, Río Tempoal 1, Río San Pedro, Río Tempoal 2, Río Verde 1, Río Verde 2, Río Verde 3, Arroyo El Puerquito o San Bartolo, Arroyo Altamira, Río Santa María 1, Río Santa María 2, Río Santa María 3, Río Tamasopo 1, Río Tamasopo 2, Río Gallinas, Río El

Salto, Río Valles, Río Tambaón 1, Río Choy, Río Coy 1, Río Coy 2, Río Tambaón 2, Río Victoria, Río Tolimán, Río Extoraz, Embalse Zimapán, Río Moctezuma 1, Río Moctezuma 2, Río Tancuilín, Río Huchihuayán, Río Moctezuma 3, Río Moctezuma 4, Río Jaumave-Chihue, Río Guayalejo 1, Río Guayalejo 2, Río Sabinas, Río Comandante 1, Río Comandante 2, Río Mante, Río Guayalejo 3, Arroyo El Cojo, Río Tantoán, Río Guayalejo 4, Río Tamesí, Río Moctezuma 5, Río Chicayán 1, Río Chicayán 2, Río Pánuco 1, Arroyo Tamacuil o La Llave y Río Pánuco 2, mismos que forman parte de la porción de la región hidrológica que comprende el Río Pánuco

DOF 02/07/2009. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Río Moctezuma 1, Río Extóraz y Río Santa María 3 de la Región Hidrológica número 26 Pánuco.

DOF 02/07/2009. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Río Moctezuma 1, Río Extóraz y Río Santa María 3 de la Región Hidrológica número 26 Pánuco.

DOF 18/07/2011. Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Arroyo Zarco, Río Ñadó, Río Galindo, Río San Juan 1, Río Tecozautla, Río San Juan 2, Río Grande de Tulancingo, Río Metztitlán 1, Río Metzquititlán, Río Metztitlán 2, Río Amajaque, Río Claro, Río Amajac, Río Calabozo, Río Los Hules, Río Tempoal 1, Río San Pedro, Río Tempoal 2, Río Verde 1, Río Verde 2, Río Verde 3, Arroyo El Puerquito o San Bartolo, Arroyo Altamira, Río Santa María 1, Río Santa María 2, Río Santa María 3, Río Tamasopo 1, Río Tamasopo 2, Río Gallinas, Río El Salto, Río Valles, Río Tambaón 1, Río Choy, Río Coy 1, Río Coy 2, Río Tambaón 2, Río Victoria, Río Tolimán, Río Extoraz, Embalse Zimapán, Río Moctezuma 1, Río Moctezuma 2, Río Tancuilín, Río Huchihuayán, Río Moctezuma 3, Río Moctezuma 4, Río Juamave-Chihue, Río Guayalejo 1, Río Guayalejo 2, Río Sabinas, Río Comandante 1, Río Comandante 2, Río Mante, Río Guayalejo 3, Arroyo El Cojo, Río Tantoán, Río Guayalejo 4, Río Tamesí, Río Moctezuma 5, Río Chicayán 1, Río Chicayán 2, Río Pánuco 1, Arroyo Tamacuil o La Llave y Río Pánuco 2, mismas que forman parte de la Subregión Hidrológica Río Pánuco de la Región Hidrológica número 26 Pánuco

DOF 29/08/2013. Decreto por el que se establece la reserva parcial de aguas nacionales superficiales para destinarse a los usos doméstico y público urbano, en la zona que ocupan las cuencas hidrológicas Río Moctezuma 1, Río Extóraz y Río Santa María 3.

DOF 07/04/2014. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales en las Cuencas Hidrológicas Río Santa María 2, Río Santa María 3, Río Victoria y Río Extóraz de la Región Hidrológica número 26 Pánuco, para el Estado de Guanajuato

DOF 08/04/2014. Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional Hídrico 2014-2018.

DOF 11/06/2014 Convenio de Coordinación que celebran la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la Comisión Nacional del Agua, y el Estado de Nuevo León, con el objeto de construir, en coordinación con el Gobierno Estatal, el Proyecto Monterrey VI.

- García Betancour B.N., González Turrubiates, D.M.E., Sánchez Torres E.G. (2013) Disponibilidad de agua en la cuenca del río Tamesí ante escenarios de cambio climático. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
<http://cambioclimatico.tamaulipas.org/home/pages/docs/Publicaciones/congreso/DACR.pdf>
- Garrido Pérez A., Cuevas M., Cotler H., González D. y R. Tharme (2010) Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental* 2(1):2546.
- Grey C. y M. Sadof (2007) La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. TEC Background Papers No. 14. Global Water Partnership Comité Técnico (TEC).
- Laurel Castillo. J. A. (2004) Estudio de la Dinámica, Contaminación y Diagnostico Ambiental en Ríos a Través del Sistema ANAITE. Instituto Politécnico Nacional. Tesis Profesional, pp. 80- 81.
<http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/6334/1/ESTDINAMICA.pdf>
- Martínez A. P y Patiño G.C. -Editores (2010) Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ISBN 978-607-7563-23-5
<http://atl.org.mx/atlas-vulnerabilidad-hidrica-cc/>
- Mendoza, V., Villanueva E., Adem, J. (1997). Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change. *Cimate Research*, 9: 139-145.
- Montero Martinez M.J., Martínez Jimenez J., Castillo Perez N.I., Espinoza Tamarindo. B.E. (2010) Escenarios climáticos en México proyectados para el Siglo XXI: precipitación y temperatura máxima y mínima. Publicado en: Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Polioptro F. Martínez A., Patiño Gómez C. Editores. <http://www.atl.org.mx/atlas-vulnerabilidad-hidrica-cc/>
- Pereyra D. D., Pérez S J. A., Salas O. M. (2010) Hidrología. Publicado en: Flores Cano y Juan Ortiz (Coord). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.
- PROY-NMX-AA-159-SCFI-2011 (2012) Proyecto de Norma Mexicana que establece el procedimiento para la determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrológicas.
<http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx>
- Ruiz M. J., Sánchez-Torres E., Elías C. R., Rolón A. C., Pichardo R. R. (2014) Retrospectiva sobre disponibilidad del agua como referencia para determinar la vulnerabilidad hídrica ante escenarios de cambio climático en el SLRGT, Tamaulipas, México. División de estudios de Postgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller". Universidad Autónoma de Tamaulipas. C.U. Tampico-Madero. <http://cambioclimatico-tamaulipas.org/home/pages/docs/Publicaciones/congreso/RSDA.pdf>.
- SADM (2011) Evaluación Socioeconómica del Proyecto Monterrey VI: Acueducto Tampaón-Cerro

- Prieto. Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM). http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/EstudioDeEvaluacion_SocioeconomicaDelProyecto.pdf
- SADM (2012) Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional para el Proyecto Monterrey VI. Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, IPD. 2012. Ejemplar para consulta.
<http://www.anamty.org/system/images/90/original/Manifestacion%20de%20Impacto%20Ambiental%20del%20Proyecto%20Panuco%20Monterrey.pdf?1418339156>
- SADM (2014) Título de asignación número 09SLP112912/26HAGC14 para explotar aguas nacionales superficiales otorgado por la Comisión Nacional de Agua a favor del Estado de Nuevo León.
<http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Titulo%20Modificado%20Octubre%202014.pdf>
- Sanchez Torres Esqueda G., Ospina Noreña J.E., Conde Álvarez C., Monterroso A. (2008). Modelación de la disponibilidad de agua en la cuenca del río Guayalejo – Tamesí, Tamaulipas. Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático en México D.F.
[http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/Taller_CCA_INE_dic08/Modelo_WEAP_Guayalejo_Tamesi_\(2_Dic_08\).pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/Taller_CCA_INE_dic08/Modelo_WEAP_Guayalejo_Tamesi_(2_Dic_08).pdf)
- Sánchez Torres Esqueda G., Ospina Noreña J.E., Conde Álvarez C., Monterroso A. (2008a) Informe sobre Cambio climático y consideraciones para apoyar políticas de adaptación en los consejos de cuenca en México. Estudio de caso. Comisión de Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí, del Consejo de Cuenca del Río Pánuco. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2008_ecc_inf_cuenca_guayalejo.pdf
- Sanchez Torres Esqueda G., Ospina-Noreña J.E., Gay-García C., Conde Álvarez C. (2011) Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, Tamaulipas, México. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, División de Estudios de Posgrado e Investigación. *Atmósfera* vol.24 no.1 México. ISSN 0187-6236.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362011000100010
- Sánchez Torres Esqueda G., Vargas Castilleja R., Haces Zorrilla M.A. (2013) Análisis preliminar del impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en la cuenca media del Río Pánuco. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero.
<http://cambioclimatico-tamaulipas.org/home/principal.php?page=congresos>
- UNIATMOS (2015) Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México. Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. Reserva al Título: INDAUTOR 04-2011-120915512800-203
http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_escenarios.html

Semarnat. Resolutivo Ambiental del Proyecto Monterrey VI (S.G.P.A./D-G-I-R-A-/D.G. 7256) de 11 de septiembre de 2012

UNW-DPAC. 2015. Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio. <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/unwdpac.shtml>

Willmott, C. J. (1977) WATBUG: A FORTRAN IV Algorithm for Calculating the Climatic Water Budget. Pubs. In *Climatology*, 30, 1-55. (Also published as Report 1 in *The Use of the Climatic Water Budget in Water Resources Management and Control*. Newark, DE: University of Delaware, Water Resources Center, 1977.