

Efecto de una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Guayalejo-Tamesí en el estado de Tamaulipas, México

Jorge Adame Garza¹ y Pedro Estrada Bellmann

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México (¹ joradame@tamaulipas.gob.mx)

(Recibido: 10-Oct-2003. Publicado: 15-Nov-2003)

Resumen

La utilización de combustible fósil para uso industrial y doméstico, así como la quema de biomasa, producen gases de efecto invernadero que absorben y emiten la radiación infrarroja en todas direcciones y atrapan el calor en la atmósfera, originando el cambio climático global. Además de modificar la temperatura, este fenómeno altera la precipitación y humedad atmosférica, el nivel del mar, los patrones de circulación atmosférica y oceánica, la extensión de la cubierta de hielo y nieve y la presencia de eventos extremos. Para hacer frente a este fenómeno y proponer medidas de adaptación y mitigación, en México se llevó a cabo el Estudio de País, cuyo objetivo principal fue la construcción de escenarios de cambio climático regional. Sin embargo, las resoluciones espacial y temporal empleadas en el mismo, impiden su aplicación directa en modelos de balance hidrológico a nivel subcuenca, por lo cual se plantea la realización del presente estudio. Este tiene como objetivo estimar la disponibilidad de agua actual y la proyectada para una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera, sobre una base estacional, en ocho regiones de la cuenca del Río Guayalejo. Para ello, se desarrollaron ecuaciones de regresión múltiple, relacionando la temperatura y precipitación de cada zona con variables de gran escala. Posteriormente, éstas se aplicaron en el Modelo del Sistema para la Comunidad Climática en su versión 2.0.1, del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica, con el fin de obtener las proyecciones de la temperatura y precipitación de cada zona. Los resultados presentan una disminución de la precipitación en la cuenca de 9.49 % y un incremento máximo en la temperatura de 1.76°C durante el verano. Sin embargo, se proyecta un incremento de un 15 % en la precipitación de invierno y de un 12 % anual para la subcuenca del Río Comandante, con disminuciones considerables en el resto de las estaciones y zonas. Estos resultados se aplicaron a su vez en modelos de balance hidrológico superficial, anual y estacional, detectando que: los estudios anuales no reflejan la disponibilidad estacional del recurso; la conservación de los volúmenes de precipitación y escurrimiento actuales, contribuirían a mejorar la disponibilidad anual en un 47 %; la sensibilidad estacional en los aprovechamientos de agua, originada por el incremento en la temperatura, genera un balance anual con una disminución en los volúmenes disponibles de un 16 %, al compararse con condiciones similares que no toman en cuenta este efecto; un incremento en el aprovechamiento industrial de un 5 % hasta el año 2010 y un 3 % anual a partir de éste, no podrá ser soportado, aún sin considerar los efectos del cambio climático. El crecimiento posible en el aprovechamiento de agua industrial, es sólo del 1 % anual, aunque con problemas en la primavera y el invierno; la dotación disminuirá de 380 a 235 l/habitante/día. Los principales efectos del cambio climático en la cuenca tendrán lugar durante el verano, originados por una disminución en la precipitación acumulada de 560 mm, simultáneamente con un incremento en la temperatura promedio de 1.32°C. Por lo anterior, es necesario la realización de estudios que evalúen los efectos de estas condiciones sobre las variedades y períodos de siembra; sobre la salud humana, animal y vegetal, así como sobre la generación y consumo de energía eléctrica.

Palabras clave: cambio climático, impactos, temperatura, precipitación, recursos hídricos, Tamaulipas, México.

1. Introducción

La disponibilidad de agua dulce, es uno de los grandes problemas que se plantean hoy en el mundo. De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (2001), el agua realmente accesible para el uso humano directo, representa menos del 1 % del agua dulce o bien cerca del 0.007 % del total de agua sobre la tierra.

El grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), ha proyectado para el año 2100 un incremento en la temperatura global de la superficie en un rango entre 1.4°C a 5.8°C; así mismo, incrementos en la precipitación durante el invierno en las latitudes medias a altas del hemisferio norte y una elevación en el nivel medio del mar entre 0.09 m y 0.88 m. En su Segundo Reporte de Evaluación (SAR, por sus siglas en inglés), IPCC (1996), ya mencionaba que “el balance de las evidencias sugiere que hay una perceptible influencia humana sobre el clima global”, mientras que en el Tercer Reporte de Evaluación (TAR), IPCC (2002), se insiste en que esta influencia humana es necesaria para explicar las tendencias observadas durante al menos los últimos 30 años. Estas alteraciones repercuten finalmente en la disponibilidad de agua; sin embargo, aún no han sido tomadas en cuenta en la planificación de los recursos hidrológicos.

De acuerdo a UNESCO (2001), en 1995 las cifras mundiales señalaron una dotación anual de 7700 m³ de agua por habitante, lo cual representa una disminución del 40 % con respecto a 1970, año para el cual se reportaron 12900 m³ por persona. De acuerdo a la ONU (2000), la demanda mundial de agua aumentó de 6 a 7 veces entre 1900 y 1995, más del doble del ritmo de crecimiento demográfico.

En lo que a México respecta, en 1955 la disponibilidad promedio fue de 11500 m³ por habitante y año. En 1999, ésta pasó a 4900 m³, por lo cual nuestro país se cataloga ya con baja disponibilidad de agua. Con base a proyecciones de la Comisión Nacional del Agua, para el año 2020 la disponibilidad de agua descenderá a 3500 m³ por habitante y año.

A pesar de que existe ya un Estudio de País para México (Magaña *et al.*, 1996), mediante el cual se proyectaron escenarios de cambio climático regional, éste fue llevado a cabo dividiendo al país en sólo 18 regiones. Sobre esta resolución espacial, no es posible incorporar los resultados obtenidos para su aplicación en modelos de balance hidrológico superficial, a nivel subcuenca. Para ello, se requiere de estudios con una mayor resolución, tanto espacial como temporal, cuyos resultados sean posibles aplicarlos directamente en la determinación de escurrimientos y volúmenes disponibles.

Los estudios existentes acerca de la situación de las cuencas hidrológicas, presentan resultados contradictorios para la cuenca del Pánuco, ya que mientras Maderey (1994) considera que la cuenca más vulnerable es la del Sistema Lerma-Chapala-Santiago, Mendoza (1994) considera que la cuenca del Pánuco es la que presenta mayor vulnerabilidad.

En materia de aprovechamientos hidrológicos, el único instrumento de planeación a nivel estatal, es el Programa Hidráulico de Gran Visión para el Estado de Tamaulipas, 1996-2020 (ITEPSA, 1997). Dentro de sus conclusiones, señala los volúmenes anuales requeridos por cada uso de agua, para el corto y mediano plazo en la cuenca del Río Guayalejo; sin embargo, no menciona los volúmenes de escurrimiento probables para estos períodos, por lo que no es posible estimar la disponibilidad futura del recurso y menos aún, identificar una posible problemática.

Por lo anterior, se propone la realización del presente estudio, el cual tiene como objetivo general la estimación de la disponibilidad de agua actual, así como la proyectada para una condición de doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera, en las ocho regiones que integran la cuenca del río Guayalejo-Tamesí, tanto sobre una base anual como estacional.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del Área de Estudio

La cuenca del Río Guayalejo pertenece a la cuenca del Río Pánuco, la cual es una de las regiones hidrológicas más importantes de México, ya que se ubica en el quinto lugar por su extensión, siendo ésta de 84956 km². Se localiza entre los 19° y 24° de Latitud Norte y los 97°45' y 101°20' de Longitud Oeste. La cuenca del Río Guayalejo, se ubica entre los 22°15' y 24°00' de latitud norte y los 97°45' y 100°00' de longitud oeste, con una extensión de 15848 km², lo cual representa el 18.7 % de la extensión total de

la cuenca del Pánuco (figura 1). Los ríos más importantes en la cuenca son el Comandante, el Río Frío, el Río Sabinas y el río Mante. El Río Comandante, es el principal por su extensión y por el volumen que aporta al cauce del Guayalejo.

De acuerdo al sistema climático de Köppen, modificado por Enriqueta García, el 40 % de su superficie posee un clima AmW''(e), cálido húmedo con régimen de lluvias en verano, escaso porcentaje de lluvia invernal y extremo. La precipitación media es de 1025 mm, presentándose durante el verano casi el 50 % del total en la cuenca. La temperatura promedio durante la primavera, se sitúa en los 25°C, mientras que durante el verano, ésta es de casi 28°C; sin embargo, cabe mencionar las máximas registradas en los municipios de Llera y Mante de 48°C. En el otoño, la temperatura promedio es de 24°C y en el invierno es de 18.6°C, con mínimas hasta de 2.1°C.

La evaporación acumulada anual es de 1582 mm, siendo la más alta la correspondiente a la estación Cuauhtémoc, con 1835 mm. La mas baja se presenta en la estación González, con 1390 mm. A nivel cuenca, el 32 % de la evaporación ocurre durante el verano.

En cuanto al tipo de suelo, predominan los vertisoles, los cuales contienen porcentajes muy altos de arcilla. También es posible encontrar litosoles y rendzinas, en sitios de mayor humedad. En cuanto a la vegetación, predomina la selva baja ocupando casi un 20 % de la extensión total. La agricultura de temporada y el matorral submontano participan con el 15 % y el 9 %, encontrándose también una zona importante de pastizales.

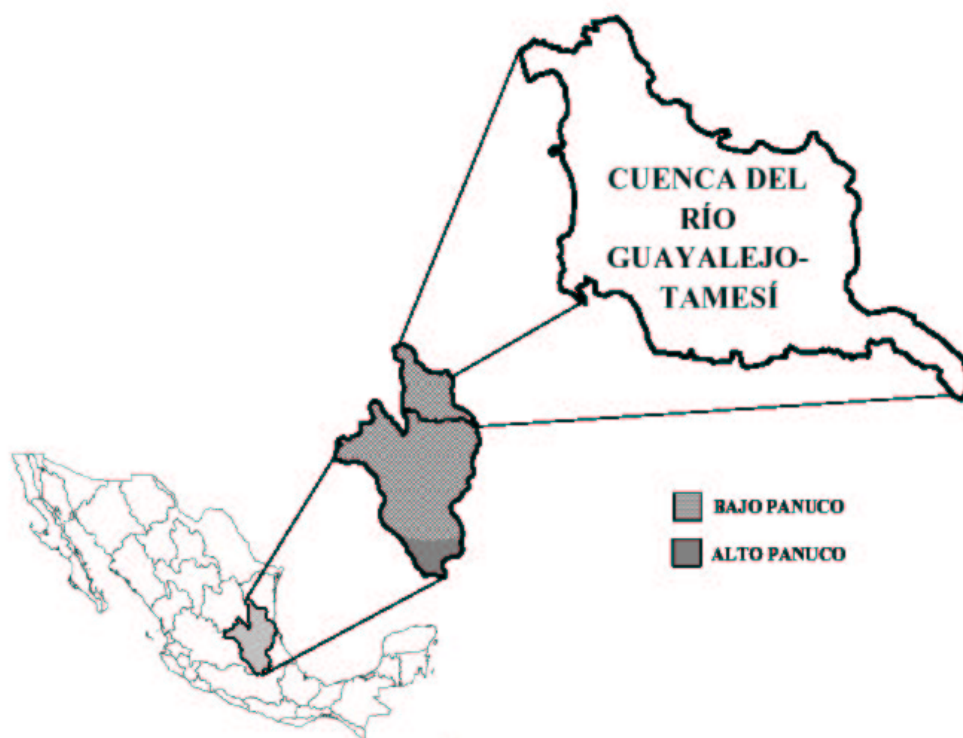


Figura 1: Localización del área de estudio

2.2. Descripción del Proceso

Para llevar a cabo el análisis, la cuenca se dividió en ocho zonas (figura 2), estando delimitada cada una por las estaciones hidrométricas seleccionadas en este estudio: La Encantada, San Gabriel, Magiscatzin, La Servilleta, Sabinas, Río Frío, Mante y Tamesí. En cada uno de los municipios que integran la cuenca, se consideraron los aprovechamientos superficiales identificándolos por su uso, ya sea en los distritos de

riego Mante, Xicotécatl–Río Frío y las Ánimas, o bien por usuarios diversos. Posteriormente, el total se agrupó en las ocho zonas consideradas en el análisis, de acuerdo a la ubicación de cada municipio. Procesos análogos se siguieron con los registros de población, así como de precipitación y de temperatura, considerando a las comunidades y estaciones ubicadas dentro de la cuenca.

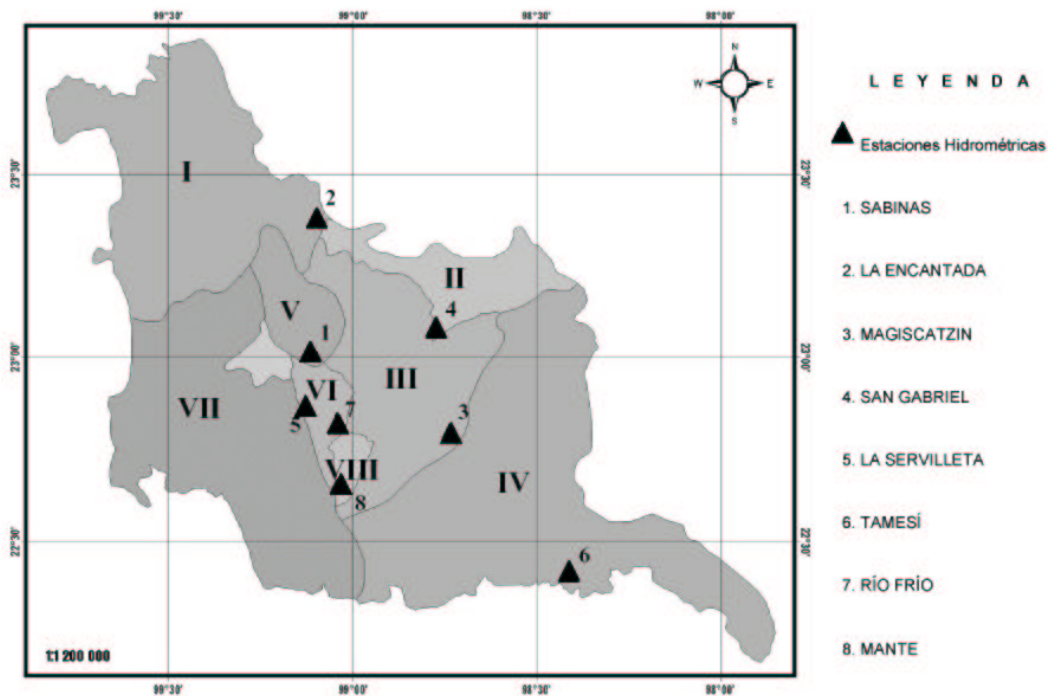


Figura 2: División del área de estudio

Para estimar los datos faltantes de precipitación, tanto a nivel diario como mensual, se aplicó el método del Servicio Climático Nacional de los Estados Unidos, empleando los datos registrados en las estaciones circundantes. El método consiste en ponderar (W_i) los valores observados, igual al recíproco del cuadrado de la distancia (D_i) en kilómetros, entre cada estación vecina y la estación a corregir, a través de la relación:

$$W_i = \sum \frac{1}{D_i^2}$$

Tomando como base la ecuación anterior, se obtuvieron los datos faltantes de precipitación (P_x) a partir de la siguiente fórmula:

$$P_x = \frac{\sum P_i W_i}{\sum W_i}$$

El Balance Hidrológico Actual fue realizado siguiendo la metodología empleada por la Subdirección General de Programación de la Gerencia de Planeación Hidráulica, de la Comisión Nacional del Agua, la cual parte de la ecuación de continuidad:

$$C_p + A_r + I_m + R - (A_b + E_x + E_v + U_c) = \Delta V = 0$$

$$C_p = A_b + E_x + E_v + U_c - (A_r + I_m + R) + \Delta V$$

En donde:

C_p = Esguerrimiento Virgen

A_b = Esguerrimiento Aguas Abajo

E_x = Exportaciones

E_v = Volumen Evaporado en Vasos

U_c = Aprovechamientos de Agua

A_r = Escurrimiento Aguas Arriba

I_m = Importaciones

R = Retornos

ΔV = Incremento en el Volumen

En virtud de que los registros de escurrimiento en la estación hidrométrica Tamesí no son confiables por efecto del remanso del sistema lagunario, se aplicó el método Coutagne para estimar el escurrimiento virgen en la zona delimitada por esta estación.

Este método se basa en la siguiente relación:

$$ETR = P - xP^2$$

Siendo:

$$x = \frac{1}{0,8 + 0,14 t}$$

Teniendo como restricción:

$$\frac{1}{8x} \leq P \leq \frac{1}{2x}$$

En las cuales:

ETR = Evapotranspiración real en metros/año

P = Precipitación en metros/año

t = Temperatura media anual en grados centígrados

Para estimar la disponibilidad relativa del recurso (D_r), se tomó en cuenta la relación:

$$D_r = \frac{\text{Escurrimiento Total}}{\text{Volumen Comprometido}}$$

Los resultados se interpretaron en base a la siguiente clasificación, establecida por la Comisión Nacional de Agua:

VALOR	INTERPRETACIÓN
$D_r \leq 1,4$	Déficit
$1,4 < D_r \leq 3,0$	Equilibrio
$3,0 < D_r \leq 9,0$	Disponibilidad
$9,0 < D_r$	Abundancia

Posteriormente, se correlacionaron las variables locales, temperatura media anual y precipitación acumulada, con las variables de gran escala seleccionadas. Para llevar a cabo este proceso, se empleó un programa aportado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, desarrollado en lenguaje Visual Fortran, el cual se enlazó al sistema para el análisis y despliegado de mallas (Grads, por sus siglas en inglés), para formar campos de igual correlación; de éstos, se seleccionaron los mayores en términos absolutos, registrando las coordenadas geográficas correspondientes.

Con este mismo programa, considerando a cada uno de los pares de coordenadas seleccionadas con anterioridad, así como la base de datos de las variables de gran escala, se extrajeron las series asociadas a las localizaciones geográficas, formando una nueva base de datos, para cada estación y zona.

Posteriormente, a estas bases de datos se adicionaron las series de las variables locales, con el fin de integrar las secciones de predictando y predictores. A las bases de datos constituidas en el paso anterior, se aplicó el método *stepwise*, para seleccionar las variables de gran escala que conformaron cada una de las ecuaciones de regresión múltiple, con las cuales se representaron a la temperatura y a la precipitación en cada zona y estación del año. Lo anterior, fue llevado a cabo por medio del paquete estadístico *Statgraphics*.

La validación de los modelos estadísticos, consistió en demostrar que éstos son capaces de reproducir la precipitación y temperatura locales a partir de las variables de gran escala seleccionadas, mediante la revisión de los resultados obtenidos en el análisis de varianza. Se verificó también que los resultados no estuviesen correlacionados, aplicando la prueba de Durbin-Watson, a partir de la relación:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=2}^n e_t^2}$$

En la que:

d = Estadístico Durbin-Watson

e = Residual

t = Período de Tiempo

Teniendo como hipótesis nula:

H_0 : No existe correlación significativa en los residuales

Asímismo, se verificó que la varianza fuese constante, graficando los valores observados (x) contra los residuales (y), para garantizar un patrón aleatorio. El proceso antes descrito se presenta en la figura 3.

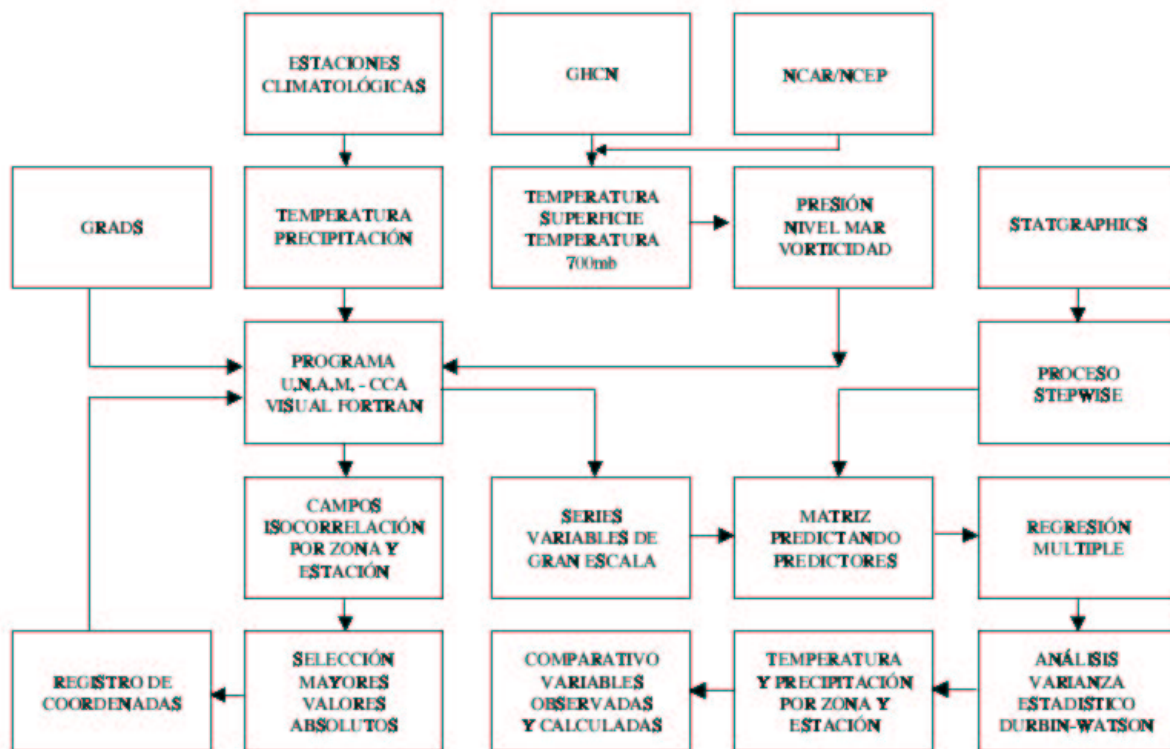


Figura 3: Proceso de formación de las ecuaciones de regresión múltiple para la temperatura y precipitación en cada zona y estación del año.

Para analizar las tendencias de la población y de los aprovechamientos superficiales, se revisaron 33 modelos por medio del paquete de software Curve Expert 1.3. Posteriormente a la selección del modelo más adecuado, se realizaron proyecciones hasta el año 2100. Para la proyección de los aprovechamientos industrial y servicios, se tomaron en cuenta los índices propuestos por la Comisión Nacional del Agua.

El modelo de circulación general seleccionado para llevar a cabo el presente estudio, fue el modelo del Sistema para la Comunidad Climática, desarrollado en el Centro Nacional de Investigación Atmosférica de los Estados Unidos (NCAR CCSM, por sus siglas en inglés). Este sistema consiste en modelos individuales para la atmósfera, el océano, la superficie de la tierra y el mar de hielo, los cuales se comunican a través de un acoplador de flujos.

El componente atmosférico, comprende la dinámica atmosférica, la radiación, nubes, aerosoles y química, e incluye a la troposfera y a una fracción de la atmósfera media. El componente oceánico, comprende a la bioquímica y la dinámica oceánica. El componente superficie terrestre, toma en cuenta los procesos físicos, químicos y biológicos, mientras que el componente del mar de hielo, incluye la dinámica y termodinámica de la formación y transporte del mar de hielo. El acoplador de flujos, es un código de computadora que considera a las variables de estado y calcula los flujos no generados por los componentes, aun cuando los modelos posean diferentes discretizaciones.

Posteriormente a la validación de cada una de las ecuaciones de regresión, se procedió a aplicarlas sobre las salidas generadas por el Modelo de Circulación General NCAR CCSM2.0.1, tanto para una corrida de control en la cual la concentración de bióxido de carbono atmosférico no cambia con el tiempo, así como para aquella en que la concentración de bióxido de carbono alcanza el doble de la concentración inicial. Al cálculo resultante de aplicar una doble concentración, se restó el obtenido de la corrida de control, determinándose de esta manera las anomalías, tanto de temperatura como de precipitación.

Para estimar los escurrimientos, se aplicó el método de Coutagne para cada una de las estaciones del año en cada zona, tanto para las condiciones actuales como para las estimadas bajo una doble concentración de bióxido de carbono, obteniéndose el incremento o decremento relativo. Éste se aplicó al escurrimiento virgen actual, estimándose de esa manera el escurrimiento virgen proyectado, para cada zona y estación.

Los balances hidrológicos proyectados se realizaron siguiendo la misma metodología descrita para el balance hidrológico actual, considerando la proyección de la población, la proyección de los aprovechamientos, así como la proyección de los escurrimientos para una doble concentración de bióxido de carbono. Los procesos comprendidos en esta fase se presentan en forma detallada en la figura 4.

2.3. Datos

Los volúmenes de escurrimiento en cada una de las estaciones hidrométricas fueron proporcionados por la Subgerencia Técnica de la Delegación Regional Golfo Norte de la Comisión Nacional del Agua. Los aprovechamientos superficiales se obtuvieron a partir de la información proporcionada por el Registro Público de Aprovechamientos de Agua de la Gerencia Regional Golfo Norte, de la Comisión Nacional del Agua (tabla 1).

Los registros de población se obtuvieron de los anuarios estadísticos elaborados por el Instituto Nacional del Estadística, Geografía e Informática, así como por el Consejo Estatal de Población (tabla 2).

La precipitación y temperatura se obtuvieron de los registros de las estaciones climatológicas en la cuenca, los cuales fueron proporcionados por la Subgerencia Técnica de la Delegación Regional Golfo Norte, de la Comisión Nacional del Agua. Los registros de las variables de gran escala se obtuvieron de la Red Histórica Global del Clima (GHCN, por sus siglas en inglés). Los datos de altura y superficie, provienen de la Base de Reanálisis NCAR/NCEP.

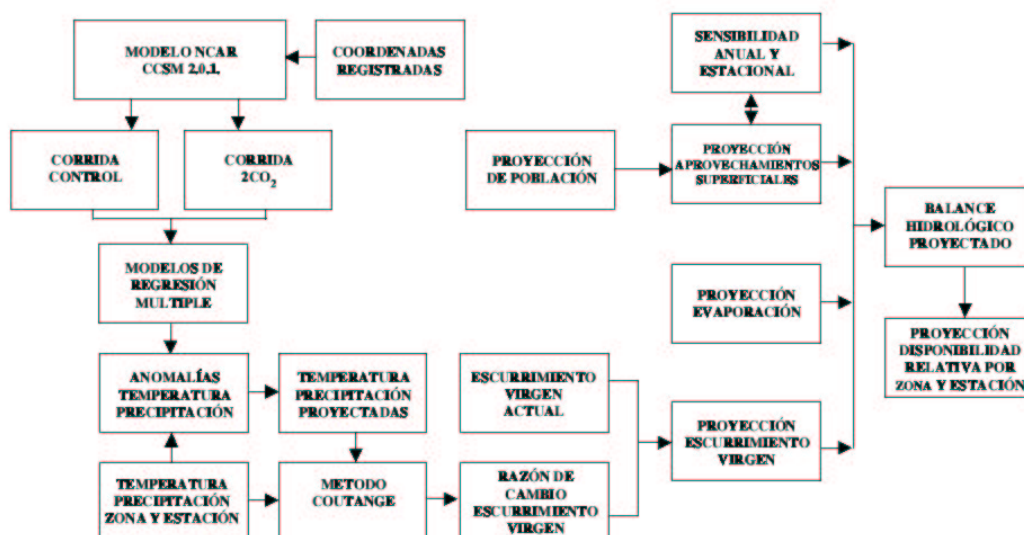


Figura 4: Proyección de la disponibilidad relativa bajo la condición 2CO₂ para cada zona y estación del año.

Tabla 1: Aprovechamientos superficiales actuales en la cuenca del río Guayalejo-Tamesí, en millones de m³. (Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional Golfo Norte. Subgerencia Técnica).

USUARIOS DIVERSOS	VOLUMEN
Público urbano	48.05
Agrícola	402.79
Pecuario	0.17
Doméstico	24.53
Industrial	86.49
Servicios	0.05
SUBTOTAL	562.09
DISTRITOS DE RIEGO	VOLUMEN
Mante	206.62
Xicotencatl-río frío	307.62
Las ánimas	307.78
SUBTOTAL	822.02
TOTAL	1384.11

Tabla 2: Población por zona en estudio de la cuenca del río Guayalejo-Tamesí (no. de habitantes).

AÑO	ZONAS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1930	10411	4284	7754	105552	898	1516	11413	5543	147372
1940	13756	5082	8414	126102	1046	1741	12445	13797	182384
1950	14677	7463	16992	158195	1734	3844	16735	28767	248407
1960	17197	9826	23859	212037	2545	6700	21479	40614	334257
1970	16992	12100	37667	328588	3256	9145	27455	66956	502159
1980	17063	12440	47854	471843	3259	9005	30702	86492	678659
1990	14720	11529	46942	546320	2990	8284	30170	94415	755370
2000	15178	10581	45759	633199	2827	8149	28054	91512	835258

3. Resultados y Discusión

Se conformaron 64 ecuaciones de regresión múltiple, 32 para la precipitación y 32 para la temperatura, considerando, las cuatro estaciones del año y ocho zonas de estudio. Se llevó a cabo el análisis de varianza, obteniéndose para todos los casos altos coeficientes de correlación.

Se realizó la prueba de hipótesis nula, correspondiente al estadístico Durbin Watson, apreciándose que los valores del estadístico quedan situados dentro del intervalo de aceptación de la hipótesis nula, por lo que no se presenta la autocorrelación en los residuales, tanto para las ecuaciones de precipitación como de temperatura, en cada una de las estaciones del año.

Posteriormente a este análisis, se aplicó el modelo de circulación general NCAR CCSM, con el fin de obtener las proyecciones de temperatura y precipitación y, en base a éstas, la estimación de los escurrimientos.

A nivel cuenca, el efecto del cambio climático global sobre la precipitación anual, se reflejará en una disminución neta del 9.49 %. El mayor efecto absoluto se presentará durante el verano, ya que aunque la disminución estacional proyectada es sólo de un 14 %, durante esta estación se registra el 48.75 % de la precipitación anual, lo que ocasionará la disminución más importante en el área de estudio. En esta estación, la zona 4 será la más afectada con una disminución del 47 %, siendo esta zona la que también registrará la mayor disminución en términos absolutos.

Durante el otoño, se presentarán incrementos en las zonas 4, 5 y 6, siendo en esta última en donde se registrará el mayor porcentaje, con un 58 %. Durante el invierno, solamente las zonas 2 y 5 presentarán disminuciones; en el resto de las zonas se registrarán incrementos, siendo el más importante el que se presentará en la zona 4, con un 56 %, el mayor en términos absolutos (tabla 3).

Tabla 3: Efecto absoluto y relativo del cambio climático global sobre la precipitación (mm) en cada zona de la cuenca del río Guayalejo-Tamesí.

ZONA	Primavera				Otoño			
	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO
1	121.78	60.89	-60.89	-50.00	151.67	113.76	-37.91	-25.00
2	128.53	64.26	-64.26	-50.00	220.64	139.01	-81.64	-37.00
3	139.75	62.88	-76.87	-55.00	236.52	130.09	-106.43	-45.00
4	110.77	59.82	-50.96	-46.00	288.47	320.21	31.73	11.00
5	234.73	183.09	-51.64	-22.00	382.07	554.00	171.93	45.00
6	206.25	251.63	45.37	22.00	359.07	567.33	208.26	58.00
7	163.57	189.74	26.17	16.00	318.07	184.48	-133.59	-42.00
8	158.95	100.14	-58.81	-37.00	276.67	218.56	-58.11	-21.00
TOTAL	1264.32	972.44	-291.88	-23.09	2233.18	2227.42	-5.76	-0.26

ZONA	Verano				Invierno			
	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO
1	237.36	275.34	37.98	16.00	46.82	72.56	25.75	55.00
2	353.26	406.24	52.99	15.00	58.50	35.10	-23.40	-40.00
3	452.29	398.02	-54.28	-12.00	57.10	75.37	18.27	32.00
4	441.66	234.08	-207.58	-47.00	84.21	131.37	47.16	56.00
5	725.56	573.19	-152.37	-21.00	87.24	34.89	-52.35	-60.00
6	747.99	620.83	-127.16	-17.00	75.34	113.01	37.67	50.00
7	659.49	560.56	-98.92	-15.00	63.05	68.09	5.04	8.00
8	566.62	555.28	-11.34	-2.00	53.74	75.23	21.49	39.99
TOTAL	4,184.23	3,623.54	-560.68	-13.40	526.00	605.63	79.63	15.14

La disminución del 9.49% en la precipitación, obtenida mediante la aplicación del modelo descrito en el apartado anterior, es congruente con el patrón de disminución observado durante el siglo pasado en las zonas subtropicales del hemisferio norte, entre los 10° Norte y 30° Norte. Sin embargo, difiere notablemente de la precipitación proyectada en el esquema de regionalización global que comprende a toda la República Mexicana y a Centro América, en el cual se señalan decrementos para la precipitación durante el invierno.

El cambio climático originará que la temperatura promedio de la cuenca se incremente 0.57°C, situándose ésta en 24.53°C. El análisis del cambio en la temperatura promedio por estación, muestra que durante el verano se registrará el mayor incremento, con 1.31°C, lo cual originará que la temperatura se sitúe en 29.26°C. El menor incremento se presentará en invierno, estación para la cual se proyecta una temperatura promedio de 18.66°C, lo cual constituye un incremento de 0.01°C.

Un análisis de la temperatura promedio de cada zona muestra que se registrarán incrementos de 1°C y 1.01°C en las zonas 2 y 8, respectivamente. En el resto de las zonas, los incrementos serán menores de 1°C, siendo la zona 7 la menos afectada. Para esta zona, se proyecta una temperatura de 22.56°C, lo cual representa un incremento de 0.13°C (tabla 4).

Tabla 4: Efecto absoluto y relativo del cambio climático global sobre la temperatura (°C) en cada zona de la cuenca del río Guayalejo-Tamesí. Primavera, verano, otoño e invierno.

ZONA	Primavera				Otoño			
	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO
1	22.29	22.63	0.34	1.53	21.27	21.69	0.42	1.97
2	26.99	27.24	0.25	0.93	25.14	25.34	0.20	0.80
3	25.87	26.01	0.14	0.54	24.83	25.18	0.35	1.41
4	25.23	25.56	0.33	1.31	24.65	26.48	1.83	7.42
5	25.29	25.66	0.37	1.46	24.29	24.01	-0.28	-1.15
6	25.99	26.33	0.34	1.31	24.82	25.56	0.74	2.98
7	23.74	24.21	0.47	1.98	22.37	22.37	0.00	0.00
8	26.17	26.63	0.46	1.76	25.09	26.70	1.61	6.42
TOTAL	25.20	25.53	0.34	1.34	24.06	24.67	0.61	2.53

ZONA	Verano				Invierno			
	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO	MEDIA ANUAL	PROYECCIÓN 2CO ₂	DIFERENCIA	% DE CAMBIO
1	25.23	26.55	1.32	5.23	16.29	16.21	-0.08	-0.49
2	29.34	31.02	1.68	5.73	19.90	21.77	1.87	9.40
3	28.86	30.08	1.22	4.23	19.07	18.86	-0.21	-1.10
4	28.17	29.11	0.94	3.34	19.07	18.68	-0.39	-2.05
5	28.16	29.39	1.23	4.37	18.72	18.43	-0.29	-1.55
6	28.74	29.84	1.10	3.83	19.21	19.44	0.23	1.20
7	26.06	27.35	1.29	4.95	17.56	16.30	-1.26	-7.18
8	29.00	30.76	1.76	6.07	19.39	19.60	0.21	1.08
TOTAL	27.95	29.26	1.32	4.71	18.65	18.66	0.01	0.05

Los mayores incrementos de temperatura, proyectados para una doble concentración de bióxido de carbono, fueron de 1.76°C para la zona 8 en el verano, 1.83°C en la zona 4 durante el otoño y de 1.87°C para la zona 2 en el invierno. Estos valores están situados cerca del límite inferior del rango de calentamiento global estimado por el Reporte Especial de Escenarios sobre Emisiones (SRES), que va de 1.4°C a 5.8°C. Sin embargo, los resultados anteriores difieren con las estimaciones globales para esta región de la República Mexicana, obtenida mediante el escenario SRES-B2, ya que para estas zonas se pronostica un incremento entre 2°C y 3°C.

Tomando en consideración tanto los aprovechamientos de agua como los escurrimientos en las estaciones hidrométricas que limitan cada zona, se llevó a cabo el balance hidrológico actual sobre una base anual,

detectándose que no se presentan zonas deficitarias. El análisis de los balances para cada estación del año muestra zonas que, por su escasa diferencia con la disponibilidad, se consideran ya como deficitarias.

Durante la primavera, sólo la zona 4 alcanza la clasificación de equilibrio, el resto de las zonas se consideran deficitarias. En el verano se presenta la mayor disponibilidad, ya que en esta estación todas las zonas se clasifican dentro de este rango, como lo muestra la tabla 5.

En el otoño se mantiene una condición muy semejante, con las zonas 1 a 7 con disponibilidad, aunque con menores índices, y la zona 8 en equilibrio. En el invierno, sólo las zonas 1, 2 y 4 están en equilibrio; el resto, por su reducido margen de disponibilidad, se consideran deficitarias.

La disminución en los escurrimientos, ocasionada por el cambio climático, afecta el balance hidrológico en la cuenca de la siguiente manera:

Un aprovechamiento industrial creciendo al 5 % anual entre los años 2003 y 2010 y un 3 % anual a partir del año 2011, origina un balance hidrológico, tanto anual como estacional, que presenta a todas las zonas como deficitarias (tabla 6).

La consideración del aprovechamiento de agua industrial creciendo al 1 % anual en el periodo 2003-2100 en todos los municipios industriales, presenta un balance anual con equilibrio en todas las zonas, excepto la zona 4 que presenta disponibilidad (tabla 7). El balance estacional presenta disponibilidad y equilibrio en el verano y otoño; mientras que la primavera e invierno presentan déficit, aunque con volúmenes disponibles mayores que los comprometidos.

El balance hidrológico que considera la variación en los aprovechamientos de agua, originados por el incremento estimado en la temperatura, muestra un disminución del 16 % en la disponibilidad, cuando se compara con condiciones similares que no toman en cuenta este efecto (tabla 8).

El mantenimiento de los volúmenes de escurrimiento actuales, bajo un crecimiento en el aprovechamiento industrial del 1 % anual; es decir, el balance anual sin considerar los efectos del cambio climático, incrementaría el volumen disponible anual en un 47 % (tabla 9).

4. Conclusiones

Los escenarios de cambio climático regional, generados dentro del Estudio de País, constituyen actualmente una base de comparación con todo estudio de cambio climático en México. Sin embargo, las proyecciones de la temperatura y precipitación para la cuenca del río Guayalejo realizadas en el presente estudio, muestran que no es posible generalizar los resultados obtenidos para una región del país, hacia todas las zonas que la integran.

Un incremento constante del 5 % anual en el volumen de agua para aprovechamiento industrial hasta el año 2010 y posteriormente un 3 % a partir de este año (Programa Hidráulico de Gran Visión para el Estado de Tamaulipas, 1996-2020), no podría ser soportado por las condiciones hidrológicas actuales de la cuenca durante todas las épocas del año y menos aún por las condiciones futuras, en virtud de la disminución en la precipitación y escurrimientos proyectados por efecto del cambio climático global.

Los balances hidrológicos realizados sobre una base anual en la cuenca, no reproducen la situación real que se presenta en cada estación del año, en virtud de la alta variabilidad en la precipitación. Por lo tanto, los resultados obtenidos sobre dicha base (Programa Hidráulico de Gran Visión para el Estado de Tamaulipas, 1996-2020), poseen poca utilidad práctica.

El cambio climático global origina que el incremento posible para el aprovechamiento de agua industrial en la cuenca sea sólo del 1 % anual, aunque con problemas de disponibilidad durante la primavera y el invierno, al combinarse con el incremento proyectado para el aprovechamiento público urbano.

Tabla 5: Disponibilidad de agua superficial (millones de m³) actual en las zonas de la cuenca del río Guayalejo-Tamesí.

Anual					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	420.13	168.18	251.95	2.50	EQUILIBRIO
2	415.44	140.62	274.82	2.95	EQUILIBRIO
3	2413.93	734.24	1679.70	3.29	DISPONIBILIDAD
4	2575.73	488.25	2087.48	5.28	DISPONIBILIDAD
5	500.07	128.55	371.53	3.89	DISPONIBILIDAD
6	1102.73	381.33	721.40	2.89	EQUILIBRIO
7	257.07	79.76	177.31	3.22	DISPONIBILIDAD
8	433.16	268.95	164.21	1.61	EQUILIBRIO
Primavera					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	49.10	43.67	5.43	1.12	DÉFICIT
2	36.05	31.37	4.69	1.15	DÉFICIT
3	179.92	173.35	6.57	1.04	DÉFICIT
4	153.67	103.91	49.76	1.48	EQUILIBRIO
5	23.05	20.44	2.61	1.13	DÉFICIT
6	92.69	84.65	8.04	1.09	DÉFICIT
7	7.09	6.95	0.14	1.02	DÉFICIT
8	88.23	86.55	1.67	1.02	DÉFICIT
Verano					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	133.04	30.57	102.47	4.35	DISPONIBILIDAD
2	135.15	25.27	109.88	5.35	DISPONIBILIDAD
3	1,102.25	196.94	905.30	5.60	DISPONIBILIDAD
4	1,249.46	144.15	1,105.31	8.67	DISPONIBILIDAD
5	277.64	49.97	227.67	5.56	DISPONIBILIDAD
6	509.87	112.41	397.47	4.54	DISPONIBILIDAD
7	155.26	39.17	116.08	3.96	DISPONIBILIDAD
8	126.33	29.00	97.33	4.36	DISPONIBILIDAD
Otoño					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	170.54	45.66	124.88	3.74	DISPONIBILIDAD
2	185.30	44.09	141.21	4.20	DISPONIBILIDAD
3	910.61	203.36	707.25	4.48	DISPONIBILIDAD
4	962.21	131.54	830.67	7.31	DISPONIBILIDAD
5	172.67	38.67	133.99	4.46	DISPONIBILIDAD
6	395.77	103.67	292.10	3.82	DISPONIBILIDAD
7	87.41	26.60	60.82	3.29	DISPONIBILIDAD
8	137.18	77.40	59.78	1.77	EQUILIBRIO
Invierno					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	67.46	48.29	19.17	1.40	EQUILIBRIO
2	58.94	39.89	19.04	1.48	EQUILIBRIO
3	221.16	160.59	60.57	1.38	DÉFICIT
4	210.39	108.65	101.74	1.94	EQUILIBRIO
5	26.72	19.46	7.26	1.37	DÉFICIT
6	104.40	80.60	23.80	1.30	DÉFICIT
7	7.32	7.04	0.27	1.04	DÉFICIT
8	81.42	75.99	5.43	1.07	DÉFICIT

Tabla 6: Disponibilidad de agua superficial (millones de m³) bajo doble concentración de CO₂. Uso industrial creciendo al 5 % y 3 % anual.

Anual					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	349.56	443.36	-93.80	0.79	DÉFICIT
2	334.05	431.07	-97.02	0.77	DÉFICIT
3	1,962.24	2,540.47	-578.23	0.77	DÉFICIT
4	1,945.20	3,120.35	-1,175.15	0.62	DÉFICIT
5	422.48	550.31	-127.83	0.77	DÉFICIT
6	1,168.82	1,570.99	-402.17	0.74	DÉFICIT
7	168.05	209.91	-41.86	0.80	DÉFICIT
8	344.95	388.78	-43.83	0.89	DÉFICIT
Primavera					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	40.86	105.85	-64.99	0.39	DÉFICIT
2	34.69	103.15	-68.46	0.34	DÉFICIT
3	191.91	719.12	-527.21	0.27	DÉFICIT
4	147.40	734.10	-586.70	0.20	DÉFICIT
5	57.50	185.11	-127.61	0.31	DÉFICIT
6	194.50	565.14	-370.63	0.34	DÉFICIT
7	31.78	81.46	-49.68	0.39	DÉFICIT
8	36.39	90.00	-53.61	0.40	DÉFICIT
Verano					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	184.78	152.54	32.24	1.21	DÉFICIT
2	186.74	152.46	34.28	1.22	DÉFICIT
3	1,064.35	882.41	181.94	1.21	DÉFICIT
4	1,077.79	856.22	221.57	1.26	DÉFICIT
5	180.02	147.07	32.95	1.22	DÉFICIT
6	493.93	407.88	86.06	1.21	DÉFICIT
7	93.94	78.72	15.22	1.19	DÉFICIT
8	201.80	178.93	22.86	1.13	DÉFICIT
Otoño					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	75.23	85.16	-9.93	0.88	DÉFICIT
2	71.80	82.29	-10.49	0.87	DÉFICIT
3	650.98	778.84	-127.86	0.84	DÉFICIT
4	673.07	790.65	-117.57	0.85	DÉFICIT
5	173.98	201.85	-27.87	0.86	DÉFICIT
6	397.55	457.57	-60.02	0.87	DÉFICIT
7	30.92	34.80	-3.88	0.89	DÉFICIT
8	79.41	79.85	-0.44	0.99	DÉFICIT
Invierno					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	48.69	99.82	-51.12	0.49	DÉFICIT
2	40.82	93.17	-52.35	0.44	DÉFICIT
3	55.00	160.11	-105.11	0.34	DÉFICIT
4	46.93	739.38	-692.45	0.06	DÉFICIT
5	10.98	16.27	-5.29	0.67	DÉFICIT
6	82.83	140.40	-57.57	0.59	DÉFICIT
7	11.41	14.92	-3.51	0.76	DÉFICIT
8	27.35	40.00	-12.65	0.68	DÉFICIT

Tabla 7: Disponibilidad de agua superficial (millones de m³) bajo doble concentración de CO₂. Uso industrial creciendo al 1 % anual en todos los municipios industriales.

Anual					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	353.97	189.50	164.47	1.87	EQUILIBRIO
2	338.69	162.05	176.65	2.09	EQUILIBRIO
3	2,022.38	882.34	1,140.04	2.29	EQUILIBRIO
4	1,963.15	625.59	1,337.56	3.14	DISPONIBILIDAD
5	431.14	198.11	233.02	2.18	EQUILIBRIO
6	1,193.96	630.28	563.68	1.89	EQUILIBRIO
7	171.42	95.29	76.13	1.80	EQUILIBRIO
8	346.52	232.07	114.46	1.49	EQUILIBRIO
Primavera					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	45.27	43.86	1.41	1.03	DÉFICIT
2	39.33	36.69	2.64	1.07	DÉFICIT
3	252.05	249.91	2.14	1.01	DÉFICIT
4	165.36	147.40	17.95	1.12	DÉFICIT
5	66.16	62.50	3.66	1.06	DÉFICIT
6	219.64	209.50	10.14	1.05	DÉFICIT
7	35.15	35.15	0.00	1.00	DÉFICIT
8	37.96	37.96	0.00	1.00	DÉFICIT
Verano					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	184.78	59.47	125.31	3.11	DISPONIBILIDAD
2	186.74	53.49	133.25	3.49	DISPONIBILIDAD
3	1,064.35	297.86	766.49	3.57	DISPONIBILIDAD
4	1,077.79	227.64	850.16	4.73	DISPONIBILIDAD
5	180.02	51.96	128.06	3.46	DISPONIBILIDAD
6	493.93	159.45	334.49	3.10	DISPONIBILIDAD
7	93.94	34.79	59.15	2.70	EQUILIBRIO
8	201.80	92.93	108.87	2.17	EQUILIBRIO
Otoño					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	75.23	39.47	35.75	1.91	EQUILIBRIO
2	71.80	34.05	37.75	2.11	EQUILIBRIO
3	650.98	284.57	366.41	2.29	EQUILIBRIO
4	673.07	208.62	464.45	3.23	DISPONIBILIDAD
5	173.98	73.66	100.31	2.36	EQUILIBRIO
6	397.55	181.50	216.05	2.19	EQUILIBRIO
7	30.92	16.94	13.98	1.82	EQUILIBRIO
8	79.41	77.82	1.58	1.02	DÉFICIT
Invierno					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	48.69	46.69	2.00	1.04	DÉFICIT
2	40.82	37.82	3.00	1.08	DÉFICIT
3	55.00	50.00	5.00	1.10	DÉFICIT
4	46.93	41.93	5.00	1.12	DÉFICIT
5	10.98	9.98	1.00	1.10	DÉFICIT
6	82.83	79.83	3.00	1.04	DÉFICIT
7	11.41	8.41	3.00	1.36	DÉFICIT
8	27.35	23.35	4.00	1.17	DÉFICIT

Tabla 8: Disponibilidad de agua superficial (millones de m³) bajo doble concentración de CO₂. Uso industrial creciendo al 1 % anual en todos los municipios. Efectos estacionales.

Anual					
ZONA Nº	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	349.56	227.44	122.12	1.54	EQUILIBRIO
2	334.05	203.09	130.96	1.64	EQUILIBRIO
3	1,959.63	967.49	992.15	2.03	EQUILIBRIO
4	1,940.38	793.17	1,147.21	2.45	EQUILIBRIO
5	422.48	207.07	215.41	2.04	EQUILIBRIO
6	1,168.82	683.78	485.04	1.71	EQUILIBRIO
7	168.05	100.87	67.18	1.67	EQUILIBRIO
8	344.95	250.91	94.04	1.37	DÉFICIT
Primavera					
ZONA Nº	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	40.86	45.34	-4.48	0.90	DÉFICIT
2	34.69	39.41	-4.71	0.88	DÉFICIT
3	191.17	252.69	-61.52	0.76	DÉFICIT
4	146.03	175.58	-29.55	0.83	DÉFICIT
5	57.50	66.53	-9.03	0.86	DÉFICIT
6	194.50	220.79	-26.29	0.88	DÉFICIT
7	31.78	35.30	-3.52	0.90	DÉFICIT
8	36.39	36.70	-0.30	0.99	DÉFICIT
Verano					
ZONA Nº	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	184.78	60.00	124.78	3.08	DISPONIBILIDAD
2	186.74	54.06	132.68	3.45	DISPONIBILIDAD
3	1,063.78	298.56	765.21	3.56	DISPONIBILIDAD
4	1,076.73	227.88	848.85	4.72	DISPONIBILIDAD
5	180.02	52.16	127.86	3.45	DISPONIBILIDAD
6	493.93	159.75	334.18	3.09	DISPONIBILIDAD
7	93.94	34.84	59.10	2.70	EQUILIBRIO
8	201.80	113.03	88.77	1.79	EQUILIBRIO
Otoño					
ZONA Nº	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	75.23	39.98	35.25	1.88	EQUILIBRIO
2	71.80	34.58	37.22	2.08	EQUILIBRIO
3	650.25	285.34	364.92	2.28	EQUILIBRIO
4	671.73	208.85	462.88	3.22	DISPONIBILIDAD
5	173.98	73.97	100.01	2.35	EQUILIBRIO
6	397.55	182.06	215.49	2.18	EQUILIBRIO
7	30.92	16.98	13.94	1.82	EQUILIBRIO
8	79.41	77.83	1.58	1.02	DÉFICIT
Invierno					
ZONA Nº	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	48.69	82.12	-33.42	0.59	DÉFICIT
2	40.82	75.05	-34.23	0.54	DÉFICIT
3	54.44	130.89	-76.46	0.42	DÉFICIT
4	45.89	180.86	-134.97	0.25	DÉFICIT
5	10.98	14.42	-3.43	0.76	DÉFICIT
6	82.83	121.18	-38.35	0.68	DÉFICIT
7	11.41	13.75	-2.34	0.83	DÉFICIT
8	27.35	23.35	4.00	1.17	DÉFICIT

Tabla 9: Disponibilidad de agua superficial (millones de m³) sin efectos del cambio climático. Uso industrial creciendo al 1 % anual en todos los municipios industriales.

Anual					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	498.99	210.15	288.84	2.37	EQUILIBRIO
2	495.57	180.07	315.50	2.75	EQUILIBRIO
3	2,474.11	942.20	1,531.90	2.63	EQUILIBRIO
4	2,868.93	781.45	2,087.48	3.67	DISPONIBILIDAD
5	503.23	164.39	338.84	3.06	DISPONIBILIDAD
6	1,122.76	468.36	654.40	2.40	EQUILIBRIO
7	257.95	96.52	161.43	2.67	EQUILIBRIO
8	577.88	358.11	219.78	1.61	EQUILIBRIO
Primavera					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	49.73	45.35	4.38	1.10	DÉFICIT
2	36.15	32.33	3.83	1.12	DÉFICIT
3	197.08	193.65	3.44	1.02	DÉFICIT
4	224.04	174.28	49.76	1.29	DÉFICIT
5	24.02	21.83	2.18	1.10	DÉFICIT
6	98.83	91.27	7.56	1.08	DÉFICIT
7	7.30	7.24	0.06	1.01	DÉFICIT
8	98.49	97.87	0.62	1.01	DÉFICIT
Verano					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	210.00	49.68	160.32	4.23	DISPONIBILIDAD
2	215.00	42.30	172.70	5.08	DISPONIBILIDAD
3	1,115.50	268.02	847.48	4.16	DISPONIBILIDAD
4	1,328.62	223.32	1,105.31	5.95	DISPONIBILIDAD
5	278.41	67.53	210.88	4.12	DISPONIBILIDAD
6	514.75	146.58	368.17	3.51	DISPONIBILIDAD
7	155.50	48.99	106.51	3.17	DISPONIBILIDAD
8	240.00	78.19	161.81	3.07	DISPONIBILIDAD
Otoño					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	171.11	57.77	113.33	2.96	EQUILIBRIO
2	185.40	57.18	128.22	3.24	DISPONIBILIDAD
3	927.34	274.74	652.61	3.38	DISPONIBILIDAD
4	1,035.51	204.84	830.67	5.06	DISPONIBILIDAD
5	173.24	51.57	121.67	3.36	DISPONIBILIDAD
6	399.44	134.20	265.23	2.98	EQUILIBRIO
7	87.61	32.89	54.72	2.66	EQUILIBRIO
8	146.54	92.25	54.28	1.59	EQUILIBRIO
Invierno					
ZONA N°	ESCURRIMIENTO TOTAL	VOLUMEN		DISPONIBILIDAD RELATIVA	RESULTADO
		COMPROMETIDO	DISPONIBLE		
1	68.16	57.34	10.81	1.19	DÉFICIT
2	59.01	48.26	10.76	1.22	DÉFICIT
3	234.18	205.79	28.38	1.14	DÉFICIT
4	280.75	179.02	101.74	1.57	EQUILIBRIO
5	27.56	23.46	4.10	1.17	DÉFICIT
6	109.74	96.30	13.44	1.14	DÉFICIT
7	7.55	7.40	0.15	1.02	DÉFICIT
8	92.86	89.79	3.07	1.03	DÉFICIT

La disminución proyectada para la precipitación, de un 9.49 %, originará una disminución en el escurrimiento virgen promedio de un 16 %, con lo cual se corrobora que las tasas de cambio entre ambas variables no son proporcionales. Por lo anterior, es necesario un conocimiento más preciso de los volúmenes que finalmente ingresan y son captados por el sistema lagunario, en el extremo sur de la cuenca.

La dotación en la cuenca, actualmente de 380 litros/habitante/día, se verá reducida por el efecto combinado del incremento de la población y del cambio climático, a 235 litros/habitante/día, por lo que será necesario un aprovechamiento más eficiente del recurso.

La sensibilidad estacional en los aprovechamientos de agua, origina una disminución en el volumen disponible anual de un 16 %, al compararse con condiciones similares que no consideran este efecto.

La conservación de los volúmenes de precipitación y escurrimiento actuales hasta el año 2100, contribuiría a mejorar el volumen disponible anual en un 47 %, considerando la proyección de los aprovechamientos de agua hasta ese año.

El fenómeno de El Niño continuará modificando el patrón de distribución de las lluvias en la cuenca, proyectándose incrementos para el otoño e invierno.

El incremento proyectado para la precipitación en la zona 6, cuando para el resto de las zonas se esperan disminuciones, originará que el desarrollo económico, actualmente concentrado en la zona 4, inicie un proceso gradual de redistribución.

Para lograr una mayor utilidad, el Estudio de País debe de reconsiderarse, partiendo de estudios bajo una coordinación estatal, que tengan como unidad a las subcuencas hidrológicas, integrando posteriormente los resultados obtenidos.

Los principales efectos del cambio climático en la cuenca tendrán lugar durante el verano, originados por una disminución en la precipitación acumulada de 560 mm, simultáneamente con un incremento en la temperatura promedio de 1.32°C. Por lo anterior, es necesario la realización de estudios que evalúen los efectos de estas condiciones sobre las variedades y períodos de siembra; sobre la salud humana, animal y vegetal, así como sobre la generación y consumo de energía eléctrica.

Bibliografía

IPCC (1996): *Climate Change 1995: Science of Climate*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.

IPCC (2000): *An Assessment of the intergovernmental Panel on Climate Change*. Summary for Policy-makers. Wembley, United Kingdom, 24-29 September 2001. 41 pp.

IPCC (2001): *Technical Summary of the Third Assessment Report*. IPCC Working Group I, 63 pp.

ITEPSA (1997): *Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Tamaulipas 1996-2020*. Subregión Hidrológica No. 26B, Cuenca del Río Guayalejo, Balance de Aguas Superficiales, 150 pp.

Maderrey L, Jiménez A (1994): *Los Recursos Hidrológicos del Centro de México ante un Cambio Climático Global*. 15 pp.

Magaña V, Conde C, Sánchez O (1996): *Escenarios básicos y regionales en México ante el Cambio Climático*. Segundo Taller de Estudios de País: México, Cuernavaca, Morelos, México, pp. 243-250.

Mendoza VM, Villanueva EE, Adem J (1994): Escenario del cambio climático en México de resultados de modelos que suponen un doblamiento en el CO₂ atmosférico. *México ante el cambio climático*, Memorias I. Pág. 55-59.

UNESCO (2001): *¿Hay Suficiente Agua en el Mundo?* Organización Meteorológica Mundial, 45pp.

United Nations (2000): *Comprehensive Assessment of the Freshwater resources of the World*. Division for Sustainable Development, 35 pp.