

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



*Disponibilidad de agua para la zona Metropolitana de Mexicali, B.C., en escenarios regionales de cambio climático.*

**T E S I S**

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE**

Presenta

**LILIAN DENISSE GARCÍA BÁEZ**

Director de Tesis

**DR. OSVALDO LEYVA CAMACHO**

**MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

**AGOSTO DE 2015**

*A mi Dios, Señor y creador de todo, por brindarme salud y paciencia para culminar este proyecto.*

*A mi abuelito Ulises Báez Zúñiga, por todo su apoyo y dedicación, aportaciones y comentarios acerca del presente trabajo.*

*A mi familia, por apoyarme en cada nuevo proyecto.*

*A mis hijos, Valeria Denisse y Saúl Elías, que son la luz, la alegría y la fuerza que me empuja a ser cada día mejor persona.*

*Y a todas y cada una de las personas que de alguna manera han sido parte de mi vida y me han apoyado para seguir adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A LAS INSTITUCIONES QUE ME BRINDARON APOYO PARA CURSAR LOS ESTUDIOS Y OBTENER EL GRADO.**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por alentar a los jóvenes a seguir superándose en diferentes áreas de investigación y por el apoyo económico otorgado durante este tiempo.

A la Universidad Autónoma de Baja California, por la oportunidad que brinda para seguir estudiando y adquiriendo nuevos conocimientos, por las facilidades y el cálido trato recibido por parte del personal y por permitirme pertenecer a este programa de maestría.

A mis maestros, por su paciencia, comprensión, apoyo, sabiduría, conocimientos, tiempo y dedicación que me han brindado: Dra. Rosa Imelda Rojas Caldelas, Dra. Elva Alicia Corona Zambrano, M. C. Fabiola Maribel Denegri de Dios, Dra. Judith Ley García y M. C. Elvia Oralia Villegas Olivar.

En especial al Dr. César Ángel Peña Salmon por su tiempo, asesorías, aportaciones y contribuciones a mi trabajo de tesis; y a mi tutor el Dr. Osvaldo Leyva Camacho, por sus conocimientos compartidos y por motivarme constantemente a continuar con mi proyecto de tesis y de ser posible a proporcionar nuevas alternativas en relación al agua en Mexicali.

A todas y cada una de las personas que de alguna manera contribuyeron directa o indirectamente en la elaboración de este proyecto y en mi desarrollo profesional.

## RESUMEN

### ***“DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LA ZONA METROPOLITANA DE MEXICALI, B.C., EN ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO.”***

En la actualidad, el crecimiento de la población y de la dinámica urbana de Mexicali, Baja California, aunado a la intensificación de las actividades de producción y al fenómeno del cambio climático regional, entre otros factores, provocan que, a un ritmo acelerado, el agua se convierta en un recurso cada vez más limitado y costoso.

En este trabajo se plantea como problema de estudio el tiempo en que la disponibilidad de agua en la zona metropolitana de Mexicali, B.C., permita sostener el desarrollo de la zona, considerando el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la zona de estudio y un manejo integrado de fuentes de agua.

De entrada, se realiza una exploración de la literatura respecto a la sustentabilidad urbana, el manejo integral de fuentes de agua, así como también sobre el calentamiento global y el cambio climático.

Por lo tanto, el propósito de la investigación es valorar si las fuentes de agua con que cuenta la zona metropolitana de Mexicali, B. C., serán suficientes para soportar el desarrollo a largo plazo, así como delinear una serie de criterios que permitan incorporar la sustentabilidad en el manejo integral de fuentes de agua, incluyendo los escenarios de cambio climático regionales mediante modelos de simulación.

El presente trabajo, mediante la simulación, pretende mostrar los umbrales de tiempo en que se logrará mantener el sistema población – recurso de la zona de estudio.

## SUMMARY

### ***“AVAILABILITY OF WATER FOR METROPOLITAN AREA OF MEXICALI, B.C., ON REGIONAL SCENARIOS OF CLIMATE CHANGE.”***

Currently, the population growth and urban sprawl of the city of Mexicali, Baja California, coupled with the increase in production activities and climate change, among other factors, have caused that, at an accelerated pace, water becomes increasingly limited and costly resource.

In this paper we study problem arises as the integrated management of water resources taking into account the possible scenarios of future climate change, given the right strategic planning and operation of the vital resource, in addition to taking into account the impact of climate change on water in the study area.

The exploration of the theoretical information is made as to urban sustainability, the integrated management of water resources, as well as on global warming and climate change.

Therefore, the purpose of the research is to assess whether the water sources available to the metropolitan area of Mexicali, B.C., will be sufficient to support the long-term development and outline a series of criteria to incorporate sustainability in integrated management of water sources, including regional climate change scenarios using simulation models.

This paper, through simulation, aims to show the thresholds of time that people are able to maintain the system - use of the study area.

## CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>5</b>
<b>CONTENIDO. ....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>ABREVIATURAS Y SIGLAS.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO 1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema. ....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Preguntas de investigación.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1. Justificación del tema. ....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.2. Hipótesis. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.3. Área de estudio. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.3. Hidrología regional.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.1. Acuífero del Valle de Mexicali.....</b>	<b>27</b>
<b>1.4. Usuarios del agua en la cuenca baja del Río Colorado. ....</b>	<b>28</b>
<b>1.5. Balance hidrológico del Valle de Mexicali. ....</b>	<b>31</b>
<b>CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1. Sustentabilidad urbana y Metabolismo urbano.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1.1. Gestión sustentable del agua.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.2. El manejo integrado de fuentes de agua.....</b>	<b>42</b>
<b>2.2. Calentamiento global y ciclo hidrológico.....</b>	<b>47</b>
<b>2.2.1. Calentamiento global.....</b>	<b>49</b>
<b>2.2.2. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero. ....</b>	<b>50</b>
<b>2.2.3. El cambio climático y la disponibilidad del agua. ....</b>	<b>54</b>
<b>2.3. Principios de modelación dinámica.....</b>	<b>55</b>
<b>2.3.1. Propiedades de los sistemas. ....</b>	<b>57</b>
<b>2.3.2. Análisis de sistemas. ....</b>	<b>58</b>
<b>2.3.3. Dinámica de sistemas. ....</b>	<b>58</b>

2.3.4.	Modelos de simulación. ....	59
2.3.5.	Construcción del Modelo dinámico. ....	60
<b>CAPITULO 3.</b>	<b>METODOLOGÍA. ....</b>	<b>62</b>
3.1.	Subsistema población y demanda de agua. ....	65
3.1.1.	Consumo de agua. ....	66
3.1.2.	Situación de la infraestructura existente. ....	67
3.1.3.	Construcción del subsistema población y demanda de agua. ....	69
3.2.	Subsistema de Agua Superficial. ....	70
3.2.1.	Hidrología superficial. ....	70
3.2.2.	Construcción del subsistema agua superficial. ....	71
3.3.	Subsistema de Agua Subterránea. ....	72
3.3.1.	Temperatura. ....	72
3.3.2.	Precipitación. ....	74
3.3.3.	Hidrología subterránea. ....	75
3.3.4.	Construcción del subsistema agua subterránea. ....	75
3.4.	Escenarios de cambio climático regionales. ....	78
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS. ....</b>	<b>80</b>
4.1.	Escenario de tendencia actual. ....	80
4.2.	Escenario de cambio climático. ....	88
4.3.	Escenario de cambio climático y Manejo integrado de fuentes. ....	92
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>.....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES.</b>	<b>.....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>.....</b>	<b>100</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1.- Disponibilidad de agua en México (m <sup>3</sup> /hab/año).....	16
Figura No. 2.- Tasa de crecimiento de población de las principales ciudades de México (2003).....	17
Figura No. 3.- Localización de la ciudad de Mexicali, B.C. ....	22
Figura No. 4.- Zona metropolitana de Mexicali, B.C. ....	22
Figura No. 5.- Localidades que conforman la zona metropolitana de Mexicali, B.C. ....	23
Figura No. 6.- Mapa del río Colorado. ....	25
Figura No. 7.- Presas en la cuenca del río Colorado. ....	26
Figura No. 8.- Modelo geológico preliminar del campo geotérmico de Cerro Prieto ....	28
Figura No. 9.- Huella hídrica nacional per cápita de los países que más consumen agua. ....	29
Figura No. 10.- Aumento de la población en la ciudad de Mexicali, B.C a través de los años. ....	31
Figura No. 11.- Distribución del agua en el Delta del río Colorado. ....	35
Figura No. 12.- Esquema de metabolismo urbano. ....	38
Figura No. 13.- Etapas en la planificación e implementación del MIFA. ....	46
Figura No. 14.- Componentes del sistema climático global.....	47
Figura No. 15.- Flujos de energía solar. ....	48
Figura No. 16.- Escenarios de emisiones de GI. ....	51
Figura No. 17.- Proyecciones de cambio de temperatura anual promedio en grados centígrados.....	53
Figura No. 18.- Subsistema "Población y demanda de agua" (Stella).....	69
Figura No. 19.- Media anual de la temperatura de aire de la superficie de toda la cuenca del río Colorado, (1985-2005). ....	73
Figura No. 20.- Precipitación anual para la cuenca del río Colorado.....	74
Figura No. 21.- Subsistema "Agua subterránea" (Stella). ....	76
Figura No. 22.- Demanda de agua según la tendencia. ....	82
Figura No. 23.- Fuentes y potabilizadoras según la tendencia. ....	83
Figura No. 24.- Recuperación de agua según la tendencia.....	84
Figura No. 25.- Recarga del acuífero.....	85
Figura No. 26.- Descarga del acuífero. ....	86
Figura No. 27.- Disponibilidad en el acuífero.....	87
Figura No. 28.- Dotación de agua con escenario de cambio climático. ....	88
Figura No. 29.- Fuentes y potabilizadoras con escenario de cambio climático.....	89
Figura No. 30.- Recuperación de agua con escenario de cambio climático. ....	90
Figura No. 31.- Recarga del acuífero con escenario de cambio climático.....	90
Figura No. 32.- Descarga del acuífero con escenario de cambio climático. ....	91
Figura No. 33.- Disponibilidad en el acuífero con escenario de cambio climático.....	91
Figura No. 34.- Dotación con escenario de cambio climático y recuperación de agua. ....	92
Figura No. 35.- Fuentes y potabilizadoras.....	93
Figura No. 36.- Recuperación de agua por medio de las PTAR´s.....	94
Figura No. 37.- Recarga del acuífero con escenario de cambio climático y recuperación de agua. ....	94
Figura No. 38.- Descarga del acuífero con escenario de cambio climático y recuperación de agua.....	95
Figura No. 39.- Disponibilidad en el acuífero con escenario de cambio climático y recuperación de agua. 96	



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1.- Dotación de agua en Baja California.....	30
Tabla No. 2.- Balance hídrico, abastecimiento y uso del agua, (2001-2008). ....	32
Tabla No. 3.- Balance hidrológico en el estado de Baja California.....	32
Tabla No. 4.- Consumo de agua potable por cabecera municipal en B.C.....	33
Tabla No. 5.- Descripción de los escenarios SRES, (IPCC, 2007). ....	52
Tabla No. 6.- Localidades de Mexicali, B.C. ....	65
Tabla No. 7.- Acotaciones que corresponden a la Figura No. 18.- Subsistema "Población y demanda de agua" (Stella).....	70
Tabla No. 8.- Balance del acuífero del Valle de Mexicali.....	71
Tabla No. 9.- Temperatura promedio de Mexicali, B.C.....	73
Tabla No. 10.- Cálculo de la disponibilidad de agua subterránea. ....	75
Tabla No. 11.- Sustitución de la ecuación (agua subterránea). ....	75
Tabla No. 12.- Acotaciones que corresponden a la Figura No. 21.- "Agua subterránea" (Stella). ....	77
Tabla No. 13.- Resumen del balance de aguas subterráneas en el acuífero Valle de Mexicali. ....	77
Tabla No. 14.- Cambios en la temperatura y precipitación. ....	78
Tabla No. 17.- Proyecciones de disminución de agua entregada a México por parte de los Estados Unidos, a consecuencia del cambio climático. ....	79
Tabla No. 15.- Dotación de agua por habitante en Mexicali, B.C.....	81
Tabla No. 16.- Consumo de agua por habitante en Mexicali, B.C. ....	81

## **ABREVIATURAS Y SIGLAS**

CEA	Comisión Estatal del Agua
CESPM	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali
CILA	Comisión Internacional de Límites y Aguas
CNA	Comisión Nacional del Agua
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
EPA	Agencia de Protección al Ambiente (Environmental Protection Agency)
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
MIFA	Manejo Integrado de Fuentes de Agua
OCED	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
WCED	World Commission of Environment and Development

## **INTRODUCCIÓN**

El agua es el origen de toda forma de vida. Cualquier ser vivo del planeta en mayor o menor medida depende del agua para su existencia y desarrollo (Rodríguez, 2009).

Asimismo, el agua ha sido uno de los recursos naturales más importantes en el desarrollo de las actividades humanas. Desde su comodidad física, producción de alimentos, y cualquier tipo de actividad, todo se sustenta en el uso del agua y, su disponibilidad adecuada para mantener la calidad de vida, y no descender al nivel de subsistencia, situación presente en muchas comunidades en desarrollo hoy en día.

Conseguir la comodidad incluye necesidades físicas, psico-espirituales, sociales y ambientales, así como necesidades relacionadas con los parámetros fisiopatológicos, educación, apoyo, asesoramiento e intervención financiera. El confort o comodidad física se define como el estado que experimentan los receptores y consiste en la experiencia inmediata y holística de fortalecerse gracias a la satisfacción de las necesidades de los tres tipos de comodidad: alivio, tranquilidad y trascendencia. La comodidad física es la perteneciente a las sensaciones corporales (Nava, 2010).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), ha catalogado al agua como un recurso finito, y el acceso a este recurso se considera como un derecho humano fundamental (ONU, 2003). En la “Declaración del milenio“, los gobiernos de varios países del mundo se comprometieron a llevar a término programas claros para luchar contra la pobreza, el hambre, el analfabetismo, las enfermedades, la discriminación de la mujer, la degradación ambiental y en pro de la conservación del agua (ONU, 2005).

Para respaldar los compromisos anteriores, y considerando que los principales problemas que se presentan en relación con el agua son la escasez y la contaminación, la ONU, en los “Objetivos para el desarrollo del milenio” aprobados en el año 2002, en su objetivo 7, meta 7C, se propone “reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible al agua potable” (ONU, 2007).

Es importante no confundir sequía con escasez; la primera se relaciona con condiciones naturales del medio, tiene un carácter climatológico; en tanto que la segunda hace referencia a procesos sociales. La escasez de agua surge cuando la insuficiencia o inexistencia de agua sentida por un sujeto o percibida por un grupo de personas, no se origina por un evento de sequía, sino que es el resultado de una distribución inequitativa del recurso o es una situación que se presenta debido a acciones de carácter social (Padilla, 2012).

Por otra parte, el constante crecimiento de la población amplía la necesidad de buscar nuevas fuentes de abastecimiento y el impulso a la innovación tecnológica en materia de agua, como nuevas técnicas para tratamiento y reutilización de aguas residuales, métodos de captación de agua de lluvia, y la desalación de agua de mar, dado el desfase temporal existente entre la oferta y la demanda del recurso.

Aunado a lo anterior la ONU (2005), ha expresado que las evidencias sobre la disminución de la calidad y cantidad del agua para consumo humano son cada vez más presentes, y estas se manifiestan principalmente en la contaminación de mantos acuíferos subterráneos o de fuentes de agua superficiales como ríos y lagos.

Esto plantea la necesidad de superar el desfase que existe entre la disponibilidad, regeneración y el consumo de recursos naturales, particularmente el agua, por lo que resulta conveniente que en la planeación de éste recurso se aborde desde el punto de vista de la sustentabilidad.

Este documento se estructura en cuatro capítulos donde se aborda el tema “agua”. En el capítulo uno se explica el agua como recurso natural, su importancia desde la perspectiva del desarrollo sustentable y la amenaza del cambio climático, así como los antecedentes del manejo integrado de las fuentes de agua, su modelación dinámica y escenarios a largo plazo.

En el capítulo dos se presenta el marco de referencia, métodos y técnicas, esquema metodológico y los datos necesarios para analizar la situación actual de la disponibilidad de agua en la zona y poder obtener un diagnóstico e identificar los aspectos sobresalientes que se pueden rescatar en cuanto a la gestión de este recurso.

En el capítulo tres se muestran diferentes escenarios del manejo de las fuentes de agua en acervo a través del modelado realizado por medio del *software* Stella, para posteriormente observar el comportamiento de la disponibilidad del recurso en función de la tendencia de aprovechamiento actual, de manejo eficiente, y en presencia de condiciones de cambio climático.

Por último, en el capítulo cuatro se exponen: la discusión de resultados, las conclusiones y algunas recomendaciones para afrontar el cambio climático y sus efectos para la disponibilidad del vital líquido en la zona metropolitana de Mexicali, B. C.

## **CAPITULO 1. ANTECEDENTES.**

A nivel mundial se han realizado diversos estudios sobre disponibilidad de agua en diferentes países, con el fin de prever situaciones de escasez de agua a futuro, para plantear alternativas para mitigar efectos nocivos sobre la población y las actividades productivas. Los trabajos realizados en la materia, sólo muestran el balance hídrico y la generación de datos sobre el comportamiento hidrometeorológico regional. Pero en los estudios realizados por Allain y El-Jabi (2002) y Kimura (2008), en las actuales propuestas técnicas y metodológicas, no se ha logrado la integración del manejo de la disponibilidad y la dotación adecuada para la población y actividades productivas en el futuro.

En el ámbito nacional, esta problemática se ha abordado en investigaciones desde la perspectiva de los recursos naturales, en su uso y reúso, aspectos económicos y provisión de infraestructura, entre otros, pero en la mayoría de estos trabajos, no se logra integrar a todos esos aspectos en conjunto, ni se proponen soluciones al manejo de la disponibilidad del recurso a largo plazo (González y Banderas, 2007).

Por su parte, en trabajos realizados por el Consejo Consultivo del Agua (2011) se trata de integrar al manejo de la disponibilidad diversos aspectos del agua, tales como calidad, eficiencia y finanzas públicas, pero no se contemplan los posibles efectos del cambio climático en la agudización de problemática de escasez de agua en México.

En el contexto regional, existen diversas investigaciones sobre la cuenca del Río Colorado, tanto del afluente superficial, como del acuífero del Valle de Mexicali, como las realizadas por Carreón, Ramírez, y Vega (1995), Cohen, Henges-Jeck, y Castillo-Moreno (2001), Liden (2003), Christensen y Lettenmaier (2007), Carrillo-Guerrero (2009), CONAGUA (2009) y O. García, Santillán, Quintero, Ojeda, y Velázquez (2013), que se centran en aspectos funcionales del sistema hidrológico, pero ninguno de los casos aborda de manera integral a la disponibilidad en función del manejo que hacen todos los usuarios del recurso en el mediano y largo plazo.

## **1.1. Planteamiento del problema.**

Dentro de las cifras más alarmantes que afectan la disponibilidad de agua a nivel mundial (Alimentación, 2013), se tiene el crecimiento de la población (B. García, Ordorica, y (coordinadores), 2010), motivo por el cual surge la necesidad de una gestión integrada de fuentes de agua a escala regional. Sin la debida gestión y el correcto manejo del agua, continuarán muriendo millones de personas en el mundo debido a riesgos para la salud relacionados con el agua o peor aún a falta de tan necesario recurso (ONU, 2005-2015). Algunos de los datos más alarmantes sobre el agua, que se han documentado, son los siguientes:

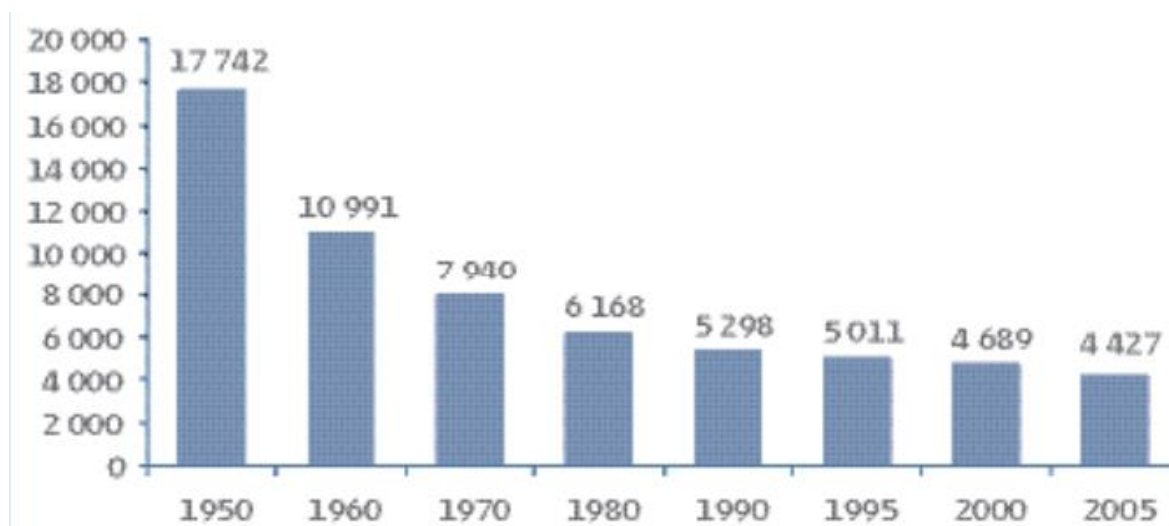
- Durante el siglo XX la población mundial se triplicó, mientras que la demanda de agua se sextuplicó.
- Un sexto de la población mundial no tiene acceso al agua potable.
- Cada año mueren 7 millones de personas como consecuencia de enfermedades transmitidas por el agua.
- Durante el último siglo, la superficie bajo riego se ha quintuplicado, destinándose a la agricultura el 70-80 por ciento del agua utilizada en el mundo.
- El 70 por ciento de las aguas residuales de los países en desarrollo se vierte en los cursos de agua sin ningún tratamiento previo.
- Durante el siglo XX desapareció el 50 por ciento de los pantanos del mundo.
- Un tercio de las cuencas colectoras han perdido hasta el 75 por ciento de sus reservas forestales.
- Actualmente, hay más de 47,000 grandes represas en el mundo. (Resources y COSUDE, 2003), pp.3.

Actualmente, México presenta un problema de escasez de agua, en materia de dotación para consumo humano, se cuenta con un poco menos de 5,000 metros cúbicos de agua al año por habitante, situación que lo coloca ya entre los países de baja disponibilidad (CESPM, 2012). Por lo que el estudio del tema de la disponibilidad del agua, en general, no sólo es importante

por tratarse de un recurso vital y un tema de índole fundamental para el desarrollo, sino porque actualmente se agudiza el riesgo de sufrir su carencia ante el amenazante cambio climático.

En la Figura No. 1 se puede apreciar la permanente disminución de la disponibilidad de agua en México a través de los años. La disponibilidad de agua natural media per cápita, ha disminuido de casi 18,000 m<sup>3</sup>/hab/año en 1950 a tan sólo 4,000 m<sup>3</sup>/hab/año en 2005 (SEMARNAT, 2008), por lo tanto el recurso ha disminuido alrededor de 14,000 m<sup>3</sup>/hab/año en tan solo 55 años. Por supuesto que esta tendencia no resulta favorable, puesto que indica un acelerado agotamiento de las fuentes de agua existentes para México.

**Figura No. 1.- Disponibilidad de agua en México (m<sup>3</sup>/hab/año).**



**Fuente: SEMARNAT (2008), pp. 25.**

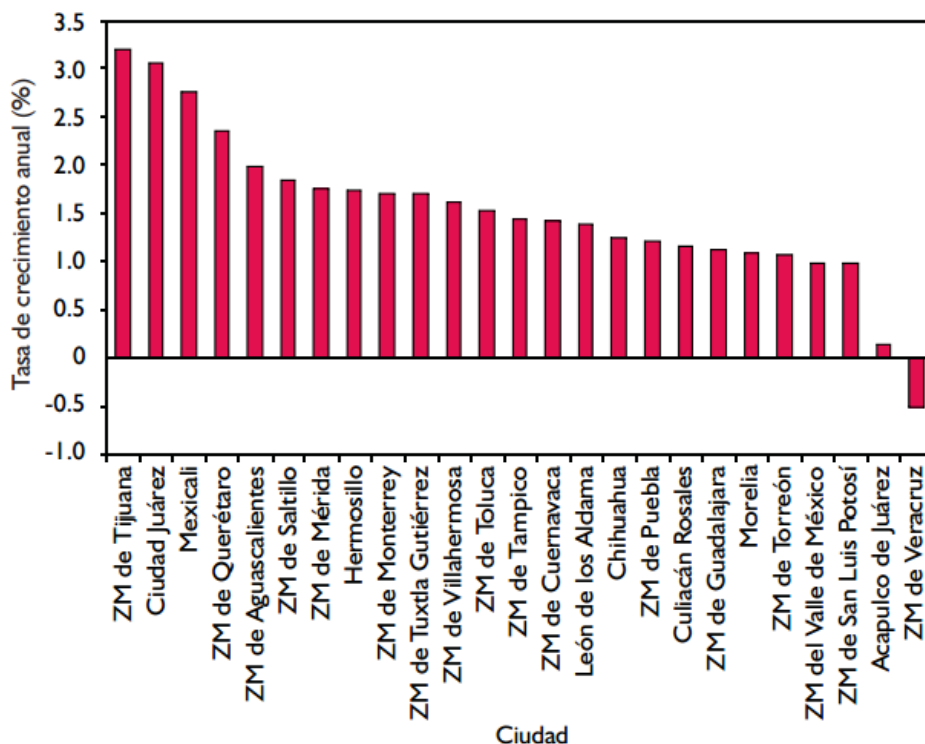
De acuerdo con la Secretaría de Economía (SE), la principal problemática nacional en materia de agua, es su escasez provocada por su disminución en los cauces, derivada de la competencia entre usos y la falta de regulación conforme la disponibilidad del recurso (SE, 2012, p. 6).



A nivel local, la problemática de escasez de agua se acentúa por el aumento de la población (ver figura No. 2), además del uso ineficiente del recurso (Márquez, 2007), que se ve amenazado por el cambio climático (Cavazos, Graef, Cueto, Muñoz, y Nieblas, 2010; IPCC, OMM, y PNUMA, 2007; PEACC, 2010) situación que plantea el agotamiento del recurso en la región de la cuenca baja del Río Colorado. Actualmente los gobiernos de México y Estados Unidos, reconocen los cambios a causa del cambio climático en los caudales de la cuenca del Río Colorado, y ante esta situación ya prevén medidas necesarias en forma de propuestas de manejo, tanto para el caso de contar con volúmenes excedentes de agua, así como también para el caso de sequías, (CILA, 2012).

La Figura No. 2 muestra a la localidad de Mexicali como la tercera del país con mayor porcentaje de crecimiento de población anual, situación que plantea la agudización de problemas al desarrollo urbano local y de la Zona Metropolitana de Mexicali a largo plazo.

**Figura No. 2.- Tasa de crecimiento de población de las principales ciudades de México (2003).**



Fuente: UNDP (2005), s/p.

[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/01\\_poblacion/cap1\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/01_poblacion/cap1_1.html)

En lo relativo a la disponibilidad del agua, los principales problemas que enfrentan los centros urbanos son el agotamiento y la contaminación de las fuentes cercanas, los altos costos de captación y conducción y los conflictos generados por divergentes intereses referentes a la gestión del recurso. Paradójicamente, ante esta situación, en las ciudades existen diferentes tipos de derroches de agua: grandes fugas debidas a infraestructura dañada o en mal estado, uso irresponsable del recurso, no se reutiliza el agua, los sistemas de cobranza son deficientes, las tarifas generalmente no cubren el costo real del suministro y no existe una verdadera conciencia ciudadana (Arreguín, 1991).

En la definición del problema de este trabajo de investigación, se busca cómo estudiar integralmente el manejo de disponibilidad de agua y los efectos a largo plazo del fenómeno del cambio climático en la zona Metropolitana de Mexicali, B.C., apoyándose en la información que proveen los instrumentos de planeación sectorial del recurso (CEA, 2008, 2013; CESPM, 2012; COPLADE, 2002 – 2007) y herramientas para la simulación de escenarios probables, para detectar las situaciones de escasez que pudiese dificultar el desarrollo futuro de la zona; dado que en planes y programas como el Programa Estatal Hídrico 2008-2013 (CEA, 2008) en la definición de demandas futuras, no prevé situaciones de escasez derivadas de condiciones futuras que imponen los escenarios regionales de cambio climático (Camargo, 2012; Christensen, Wood, Voisin, Lettenmaier, y Palmer, 2004), tampoco contemplan la integración del manejo de la disponibilidad de agua en las estrategias para la adaptación y mitigación ante el cambio climático en la zona Metropolitana de Mexicali.

Según estudios realizados de acuerdo al Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE) publicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se ha llegado al límite para ofertar más servicios por falta de fuentes de abastecimiento, debido a la extensión del periodo de sequía, y que seguirá en aumento por lo que resta del siglo.

De acuerdo al PRONACOSE, Baja California se encuentra entre los estados que presentan esta situación, y para el caso del Municipio de Mexicali, se considera moderada, mientras que Ensenada y Tijuana presentan ya una sequía extrema.

De acuerdo al plan estatal de desarrollo (Vizcarra, 2014), un ejemplo local de la agudización de la problemática de abasto de agua lo representa el Municipio de Ensenada, ya que sufre

problemas de abastecimiento debido a que no cuenta con la infraestructura para allegarse el agua concesionada (9 millones de metros cúbicos anuales), y se ha tenido que complementar con la explotación de pozos, que en gran número ya se encuentran agotados y contaminados (sobreexplotación de 30 hm<sup>3</sup>). Y para avanzar en solucionar el déficit se requieren de aproximadamente 15 años.

## **1.2. Preguntas de investigación.**

Derivado de la dinámica socioeconómica en la zona metropolitana de Mexicali en la última década, es pertinente revisar las condiciones futuras de la disponibilidad de agua para las actividades productivas en función de los efectos regionales del cambio climático.

Para lograrlo, es necesario cambiar nuestra forma de pensar; por ejemplo, en lugar de preguntarnos, ¿cuánta agua necesito para efectuar esta actividad?, deberíamos preguntarnos, ¿de cuánta agua dispongo? Para ello es necesario conocer con exactitud su disponibilidad, y así medir y controlar estrictamente el recurso, reduciendo fugas, desperdicios y usos inadecuados.

### **Pregunta general:**

Considerando las características del sistema hidrológico regional, la variabilidad de los caudales de la cuenca baja del Río Colorado de acuerdo a los escenarios regionales de cambio climático, y la dinámica de demanda de agua, entonces ¿En condiciones de cambio climático, cuál será el comportamiento la disponibilidad de agua para el desarrollo de la zona la Metropolitana de Mexicali, B.C., a largo plazo?

### **Preguntas específicas:**

Siguiendo la tendencia regional del consumo de agua, el aumento de la población y la capacidad instalada de las infraestructura hidráulicas actuales, ¿En qué momento se presentara una situación de escasez en la zona Metropolitana de Mexicali, B.C.?

Siguiendo la tendencia de consumo de agua y aumento de la población, además del cambio climático, ¿En condiciones de cambio climático, cuál será la dinámica de escasez de agua, si se incluye el manejo eficiente de la disponibilidad de agua en la zona Metropolitana de Mexicali, B.C.?

**•Objetivos de la investigación.**

**Objetivo general:**

El propósito de este trabajo de investigación es observar en condiciones de cambio climático, el comportamiento de la disponibilidad de agua para el desarrollo de la zona metropolitana de la ciudad de Mexicali, B.C.

**Objetivos específicos:**

Diseñar un modelo que permita simular la disponibilidad del agua a largo plazo en la zona metropolitana en condiciones de cambio climático y poder identificar el momento en que se presentará una situación de escasez de agua en la zona Metropolitana de Mexicali, B.C.

Comparar escenarios de disponibilidad a largo plazo para conocer la dinámica del agua, si se incluye el manejo eficiente de la disponibilidad de agua en la zona Metropolitana de Mexicali, B.C.

**1.2.1. Justificación del tema.**

En la cuenca baja del Río Colorado se despliega el sistema hidrológico que provee de agua a la zona metropolitana de Mexicali, B.C., actualmente amenazado por los efectos del cambio climático, que provoca la variación en la temperatura y la precipitación que incide en la disponibilidad en la cuenca del Río Colorado que presiona el desarrollo de las actividades productivas asentadas en la región.

Slaughter y Wiener (2007), realizaron un estudio en Colorado, EUA, estado con complicados derechos del agua, con ciudades en pleno desarrollo, gran crecimiento industrial, en un clima semi-árido y con poca agua subterránea, (datos relativamente semejantes a los de la zona metropolitana de Mexicali), y como resultado se ha establecido una ley sobre el agua, en la cual el principal objetivo es el ahorro del vital recurso.

### **1.2.2. Hipótesis.**

De acuerdo con la dinámica de crecimiento de la población en la zona Metropolitana de Mexicali, B.C., manteniendo los actuales patrones de consumo de agua, considerando una oferta inelástica y sumando el cambio climático a mediano plazo, el recurso agua podría llegar a su límite de disponibilidad, lo que conduciría a la escasez que limitaría drásticamente el desarrollo de la zona Metropolitana de Mexicali.

### **1.2.3. Área de estudio.**

El área de estudio se localiza en la frontera norte de México, colindando con el estado de California perteneciente a los Estados Unidos de Norteamérica, región binacional que comparte el ecosistema del gran desierto sonorense y la cuenca baja del Río Colorado.

El Valle de Mexicali localizado en el extremo noreste del estado de Baja California, forma parte del municipio de Mexicali que colinda al norte y noreste con los Estados Unidos, al norte con el Condado de Imperial del estado de California y al noreste con el Condado de Yuma del estado de Arizona; al este con el municipio de San Luis Río Colorado, del Estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el Golfo de California y el municipio de Ensenada; al oeste con los municipios de Tecate y Ensenada.

La ciudad de Mexicali, se localiza en las coordenadas 32° 40' de latitud norte, y 115° 28' de latitud oeste (Figura No. 3), a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar (H. Ayuntamiento de Mexicali, 2012).

Las zonas metropolitanas son centros de actividad económica con enlaces regionales que concentran equipamientos y servicios especializados y son elementos de mayor jerarquía dentro del sistema urbano.

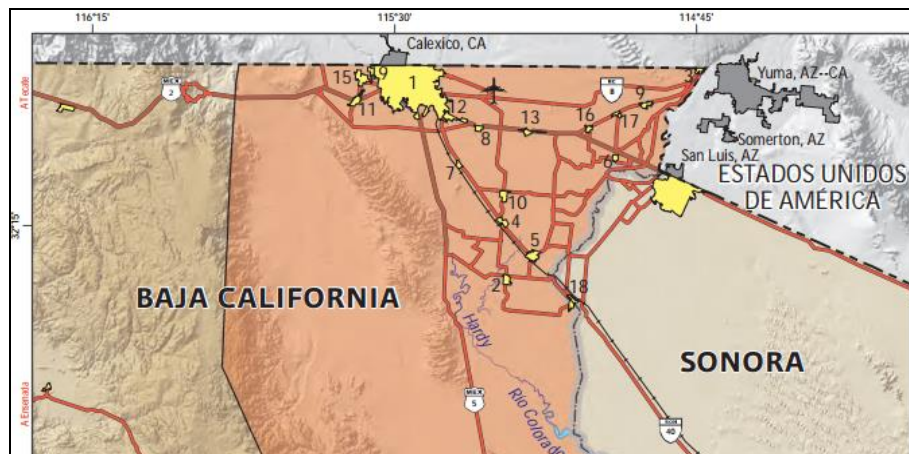
**Figura No. 3.- Localización de la ciudad de Mexicali, B.C.**



**Fuente: Google Earth (2012).**

La Zona Metropolitana de Mexicali (Figura No. 4) resulta de suma importancia para el presente trabajo dado que integra un sistema de ciudades dentro de las cuales se encuentra la ciudad de Mexicali, que es el área central del estudio.

**Figura No. 4.- Zona metropolitana de Mexicali, B.C.**

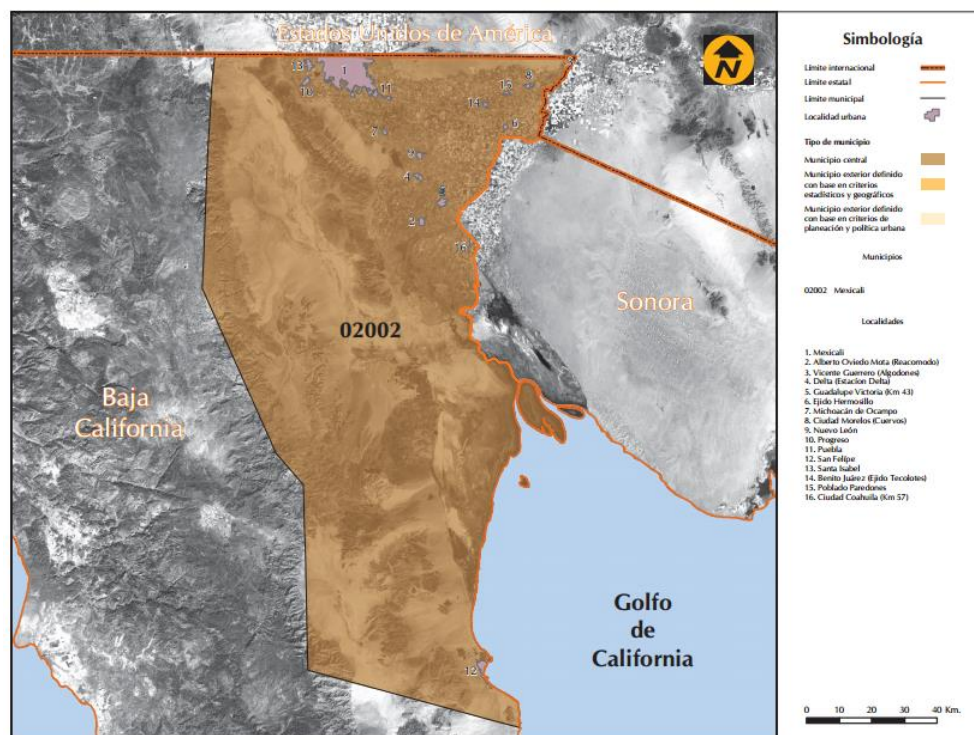


**Fuente: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional actualizado al Censo de Población y Vivienda 2010, en CONAPO (2010) pp. 50.**

Son varios los requisitos para que una zona sea declarada metropolitana, pero si son cumplidos, ésta se ve beneficiada con recursos especiales, como ha ocurrido con Mexicali, que así fue reconocida el 3 de mayo de 2010 (Jiménez, 2010).

Son 16 localidades las que componen la Zona Metropolitana de Mexicali, y su ubicación se puede apreciar en la Figura No. 5. La importancia de este sistema de ciudades radica en que Mexicali es la capital del estado de Baja California, y es el centro urbano con mayor población de este sistema metropolitano, lo que representa una mayor carga para el sistema hídrico local, para efectos de este estudio se considera como la zona metropolitana de Mexicali al área urbana funcional, es decir la ciudad capital y la zona Valle de Mexicali, que excluye a la dinámica del Puerto de San Felipe.

**Figura No. 5.- Localidades que conforman la zona metropolitana de Mexicali, B.C.**



Fuente: CONAPO (2005), s/p.

[http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delime05/DZMM-2005\\_3.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delime05/DZMM-2005_3.pdf)

Baja California es un estado que presenta un clima desértico debido al sistema de alta presión proveniente del pacífico, lo que inhibe la formación de nubes y precipitación. Su variabilidad climática depende de los controles como la Sierra de San Pedro Mártir, la forma de la

Península, su cercanía al Océano Pacífico y al Golfo de California y contrastes térmicos acentuados, mismos que determinan la alta variabilidad climática regional, (Ley, 2011).

El municipio de Mexicali presenta cuatro climas diferentes dentro del grupo de secos-áridos, con escasa precipitación. El clima cálido seco comprende a la ciudad de Mexicali, su valle y San Felipe. Este tipo de clima predomina en el 47% del territorio municipal, (Ley, 2011).

La precipitación pluvial de la zona de la ciudad de Mexicali, es muy escasa rondando alrededor de los 200 milímetros anuales. Debido a la escasez de precipitación, el clima de esta región es seco, del tipo desértico cálido (Bwh), según los criterios de la clasificación climática de Köppen (INEGI, 2014).

La particularidad de la zona de estudio es que presenta lluvias en invierno, condición muy rara, ya que por lo general y en el resto del país las precipitaciones son en verano. Desde que se tienen registros, la temperatura mínima extrema en la región ha sido de -8 °C (15 de diciembre de 1972), y la máxima, de 52 °C (28 de julio de 1995), (R. García, Santillán, Ojeda, y Quintero, 2012).

### **1.3. Hidrología regional.**

La fuente de suministro de agua para Baja California es el Río Colorado, que entra en México a través de la línea fronteriza entre esta entidad y Sonora. Además de abastecer a Mexicali, se construyeron 300 kilómetros de acueducto para llevar agua hacia la región de la costa oeste (Tijuana, Playas de Rosarito y Tecate).

Desde su inicio en las montañas Rocallosas, hasta su desembocadura en el golfo de California, el río Colorado recorre 2 400 kilómetros. La superficie total de su cuenca se estima en 76,800 kilómetros cuadrados, y su anchura, en 32 kilómetros (Sánchez, 2000).

El Río Colorado, cuya cuenca binacional comparte México con siete estados de la Unión Americana (Colorado, Wyoming, Utah, Nevada, Nuevo México, Arizona y California), ha dado lugar a disputas entre los estados de California y Arizona cuando el primero decidió que el caudal del Colorado sería para uso exclusivo de su entidad, dado que México no tenía derechos sobre el agua, puesto que todo provenía de los Estados Unidos; Arizona protestó porque se consideraba con derechos sobre el agua. Claramente, el resultado de esta disputa



podría repercutir gravemente sobre Baja California y Sonora. Por fortuna y a consecuencia de ese conflicto, en 1944 los gobiernos de México y Estados Unidos celebraron el Tratado Internacional de Límites y Aguas que reglamenta el uso y la distribución del recurso entre ambos países.

Desde 1945 ya se conocía la cantidad exacta de agua que se requería para hacer factible la producción agrícola en el valle de Mexicali, pues mediante un cálculo se pudo determinar qué superficie de terrenos agrícolas podrían contar con riego eficaz y permanente utilizando el volumen de agua anual del río Colorado asignado a México. Desde entonces quedó claro que con esa cuota no era posible regar eficientemente más de 110,000 hectáreas del valle de Mexicali (López, 1977). Por ello, una vez que se concluyeron las obras pertinentes (presas) en territorio de los Estados Unidos, en 1955 entró en vigor una nueva disposición que permite a México a usar un gasto de agua no menor de 25 metros cúbicos por segundo y no mayor de 150.

La cuenca del Río Colorado descende desde los Estados Unidos, hasta llegar a México, en donde el afluente ingresa a México por medio de la “Presas Morelos”. La zona de estudio del presente trabajo se puede observar en la Figura No. 6.

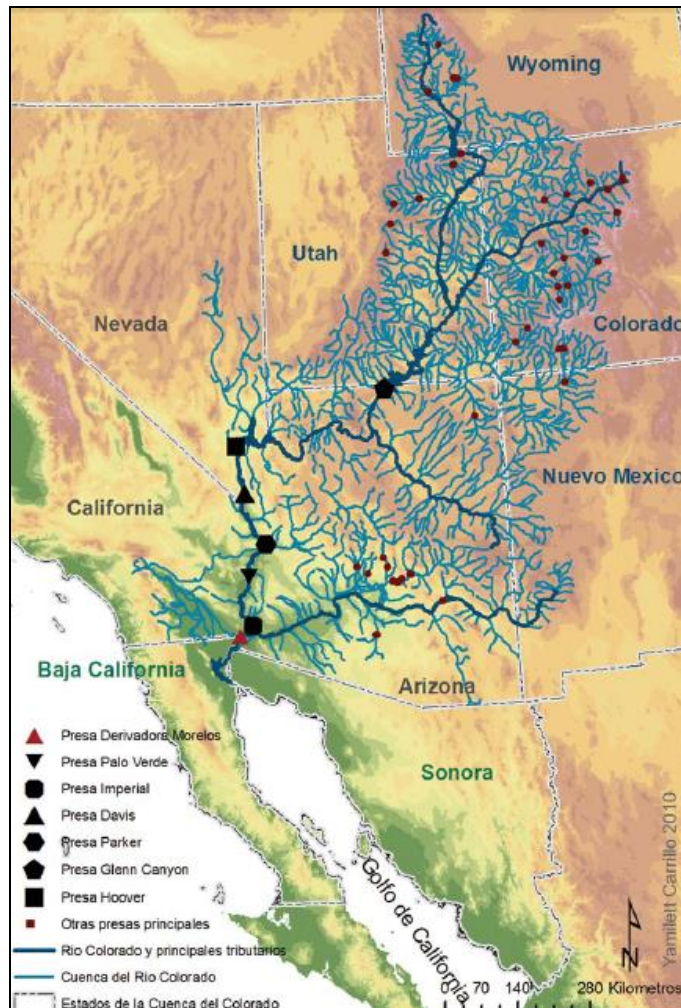
**Figura No. 6.- Mapa del río Colorado.**



**Fuente: Hensch, Flessa, Onken, y Zamora (2009), pp. 1.**

Siendo el Río Colorado uno de los más grandes y caudalosos del continente Americano, en su recorrido y diversas vertientes, se han construido varias presas hasta llegar a México. La Figura No. 7 muestra las principales presas, siendo la Presa Morelos la que permite el acceso del agua a territorio nacional y la Presa Benassini la que distribuye el efluente dentro del territorio Nacional.

**Figura No. 7.- Presas en la cuenca del río Colorado.**



**Fuente: Pitt, Hinojosa-Huerta, y Carillo-Guerrero (2010) pp. 184.**

Análisis del agua en lugares fronterizos han demostrado alta contaminación, debido a que los países, incluso estados y condados o municipalidades alteran libremente la calidad del agua. Esto sucede frecuentemente en cualquier frontera internacional e incluso en las fronteras interiores de un país; enfrentar este problema requiere de la cooperación jurídica sub o internacional. La importancia de solucionar este problema proviene del hecho de que existen

261 ríos que transcurren entre dos o más naciones, lo que da lugar a este planteamiento de problema (Olmstead, 2013).

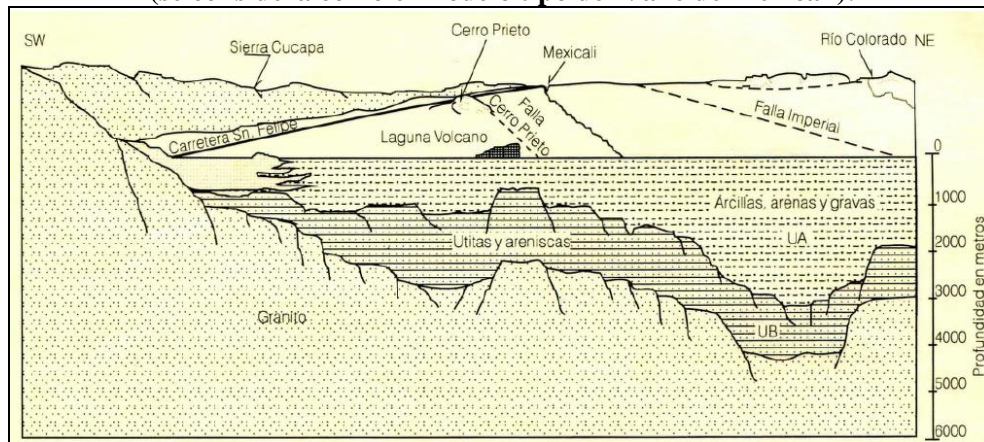
Recientes discusiones de la Corte Internacional de Justicia ante países que han tratado de evadir sus obligaciones, por medio de argumentos razonables para cambiar las circunstancias del tratado, indican que no es fácil para un país, aplicar modificaciones debido al impacto del cambio climático en la disponibilidad del agua (Olmstead, 2013).

### **1.3.1. Acuífero del Valle de Mexicali.**

El Valle de Mexicali se localiza en la porción sur de la gran depresión estructural conocida como cuenca Saltón, en el estado de Baja California. Se trata de una zona de transición entre el límite divergente de la Placa del Pacífico y el límite del sistema de fallas transcurrentes denominadas la falla de San Andrés, cuyas principales representantes en el Valle Imperial, Algodones y Cerro Prieto. La combinación de los desplazamientos provoca una serie de cuencas de dispersión en donde se origina calor anómalo en el subsuelo de la región (Carreón, Ramírez, y Vega, 1995). Debido al constante movimiento de apertura, que da origen al golfo de California, la actividad sísmica es sumamente alta, determinando una deformación muy elevada (Carreón, Ramírez, y Vega, 1995).

La imagen de la Figura No. 8 muestra un corte longitudinal del modelo geológico de Cerro Prieto, B.C., en donde se pueden apreciar las capas tectónicas de la tierra y el acuífero del Valle de Mexicali, además de la bajada de la cuenca del Río Colorado y el sistema de fallas geológicas que atraviesan la zona de estudio. Este modelo se considera como el modelo tipo para el Valle de Mexicali, debido a que no existe otro más reciente.

**Figura No. 8.- Modelo geológico preliminar del campo geotérmico de Cerro Prieto (se considera como el modelo tipo del Valle de Mexicali).**



**Fuente: de la Peña, Puente, y Díaz (1979) pp. 37.**

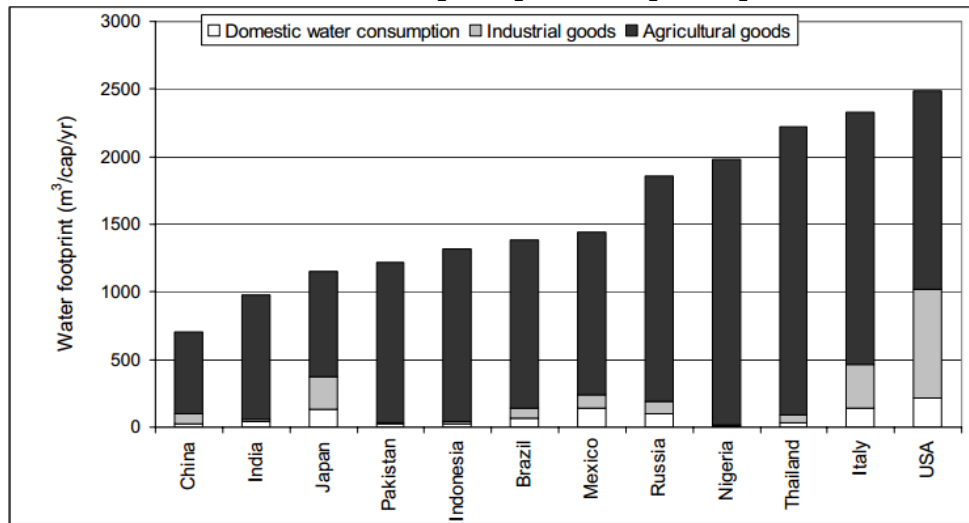
Los sedimentos que componen el Valle de Mexicali son principalmente arcillas, arenas y gravas y lentes de arenisca. Mismos que actúan como contenedores de los dos grandes acuíferos determinados en el campo geotérmico de Cerro Prieto (Carreón, Ramírez, y Vega, 1995). Según Arreguín, (1968), la dirección de flujo regional corre de noreste a suroeste con un gradiente hidráulico de alrededor de 0.042 m/km. Además Fonseca, (1981), reconoce que un rasgo fisiográfico único de la zona es el volcán Cerro Prieto, constituido por rocas de composición intermedia de edad cuaternaria, (Carreón, Ramírez, y Vega, 1995).

#### **1.4. Usuarios del agua en la cuenca baja del Río Colorado.**

El consumo de agua se da en función de una serie de factores y puede variar de una ciudad a otra, así como también puede variar de un sector de distribución a otro, en una misma ciudad. Algunos de los factores que influyen en el consumo de agua en una localidad pueden ser: el clima, nivel de vida de la población, costumbres de la población, sistema de provisión y cobranza, calidad del agua suministrada, costo del agua (tarifa), presión en la red de distribución, consumo comercial, consumo industrial, consumo público, pérdidas en el sistema, existencia de red de alcantarillado, entre otros (Melguizo, 1994).

El consumo de agua en general es muy elevado a nivel mundial. México se encuentra dentro de los países que más consumen agua, como lo indica la gráfica de la Figura No. 9.

**Figura No. 9.- Huella hídrica nacional per cápita de los países que más consumen agua.**



**Fuente: Chapagain y Hoekstra (2004), pp. 58.**

La cantidad de agua consumida varía continuamente en función del tiempo, de las condiciones climáticas, costumbres de la población, etc. Por ejemplo, hay meses en que el consumo de agua es mayor en los países tropicales como Brasil, o en regiones desérticas o de climas cálidos, sobre todo en los meses de verano. Por otro lado, dentro de un mismo mes, pueden existir días en que la demanda de agua sea mayor que en el resto de los días. Así mismo, durante el día el caudal proporcionado por la red pública varía continuamente. En las horas diurnas el caudal supera el valor medio, alcanzando valores máximos alrededor del mediodía, durante el período nocturno el consumo decae, por debajo de la media, presentando valores mínimos en las primeras horas de la madrugada, (Melguizo, 1994).

Dentro del consumo de agua se tienen diferentes usos: doméstico, comercial, industrial, público, consuntivo, especial, aparte del agua que se pierde por diferentes motivos. La dotación de agua para cada comunidad varía dependiendo de la región y la disponibilidad, pero en promedio, para lograr satisfacer las necesidades humanas a nivel residencial, se establecen las cantidades registradas en la Tabla No. 1.

**Tabla No. 1.- Dotación de agua en Baja California.**

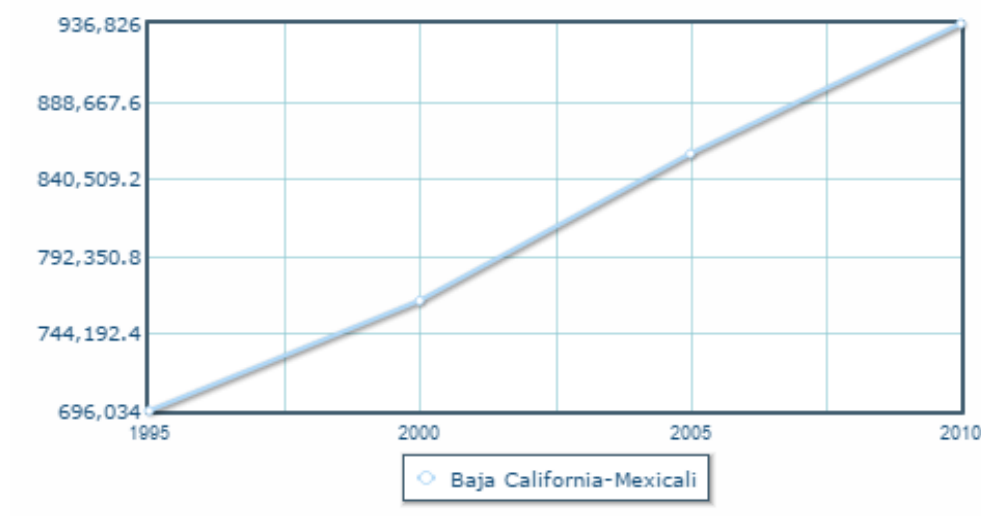
Dotaciones de agua urbanas y rurales de diseño por municipio.		
Municipio	Urbana (l/hab/día)	Rural (l/hab/día)
Ensenada	250	200
Mexicali	300	300
Playas de Rosarito	220	220
Tecate	250	200
Tijuana	220	220

**Fuente: CEA (2008), pp. 81.**

Desde el año en que se firmó el Tratado Internacional de Límites y Aguas y se repartió el caudal del río Colorado entre México y Estados Unidos, el volumen de agua para esta región fronteriza sigue siendo la misma, pero ahora hay 69 veces más habitantes en la región. En 1950, la disponibilidad de agua para Baja California era abundante para Mexicali, pero el incremento de la población, los inadecuados patrones de consumo, y ahora los efectos del cambio climático han ocasionado una importante reducción en la cantidad de agua disponible por habitante (Walther, 1996).

La evidencia del aumento de la población en Mexicali se obtiene de los Censos de Población elaborados por INEGI, los resultados se resumen en la gráfica de la Figura No.10, donde se aprecia una línea recta hacia el aumento.

**Figura No. 10.- Aumento de la población en la ciudad de Mexicali, B.C a través de los años.**



**Fuente: INEGI (2010b), s/p.**  
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>

### **1.5. Balance hidrológico del Valle de Mexicali.**

El balance hidrológico de la zona metropolitana de Mexicali, B. C., en cuanto al suministro y uso de agua (sin tomar en cuenta el retorno de flujos y los caudales ambientales), se puede ver en la Tabla No. 2, en donde el sistema hídrico actualmente funciona al límite de su capacidad, puesto que de los 2,850 millones de metros cúbicos de agua anuales que se captan, se consumen en los diferentes usos un total de 2,317 millones de metros cúbicos; restando únicamente 533 millones de metros cúbicos anuales, los que deben soportar el desarrollo de la región.

**Tabla No. 2.- Balance hídrico, abastecimiento y uso del agua, (2001-2008).**

<b>Suministro de Agua</b>	<b>Millones de metros cúbicos / año</b>
Agua del Río Colorado entregado en el Lindero Internacional Norte (Presa Morelos).	1,800
Agua del Río Colorado entregado en el Lindero Internacional Sur (San Luis Río Colorado, Sonora).	150
Aguas Subterráneas del Valle de Mexicali	700
Aguas Subterráneas de la Mesa Arenosa	200
<b>Total</b>	<b>2,850 millones de metros cúbicos / año</b>

<b>Usos del Agua</b>	<b>Millones de metros cúbicos / año</b>
Ciudades de Tijuana, Ensenada y Tecate	92
Ciudad de Mexicali	82
Ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora	23
Agricultura y uso doméstico en el Valle de Mexicali	1,760
Agricultura y uso doméstico en el Valle de San Luis	360
<b>Total</b>	<b>2,317 millones de metros cúbicos / año</b>

**Fuente: Flessa, Onken, y Zamora (2009) pp. 1.**

Por lo tanto, la diferencia entre los 2,850 y los 2,317 millones de metros cúbicos de agua al año; son los 533 millones de metros cúbicos anuales que deben soportar el desarrollo regional. A nivel estatal, el sistema hídrico se encuentra prácticamente al límite, pues la cantidad de agua que llega es la que se utiliza, lo que se puede observar en las cifras de la Tabla No. 3, quedando así el sistema sin ningún tipo de reserva para cubrir necesidades extraordinarias.

**Tabla No. 3.- Balance hidrológico en el estado de Baja California.**

<b>Fuente</b>	<b>Oferta</b>	<b>% de oferta</b>	<b>Demanda</b>	<b>% de demanda</b>
<b>Escurecimientos superficiales</b>	672	19	1,869	56
<b>Río Colorado</b>	1,850	51	-	-
<b>subterránea</b>	1,100	30	1,467	44
<b>SUMA</b>	3,622	100	3,336	100

**Fuente: CEA (2008) pp. 84.**



La cantidad de agua que se consume en cada región depende principalmente de la población, los datos para Mexicali se observan en la Tabla No. 4, siendo el porcentaje de pérdidas muy elevado, lo que muestra la necesidad de un manejo integrado de fuentes de agua para poder lograr un verdadero uso eficiente del líquido.

**Tabla No. 4.- Consumo de agua potable por cabecera municipal en B.C.**

<b>Municipio</b>	<b>Consumo (m<sup>3</sup> / año)</b>	<b>Volumen medido (m<sup>3</sup> / año)</b>	<b>Agua no contabilizada (m<sup>3</sup> / año)</b>	<b>Porcentaje de pérdidas de agua</b>
Tijuana – Playas de Rosarito	110,544,117	81,280,491	29,263,626	26
Mexicali	84,392,700	70,664,603	13,728,097	16
Ensenada	22,038,577	17,708,833	4,329,744	20
Tecate	8,794,147	7,419,535	1,374,612	16

**Fuente: CEA (2008) pp. 81.**

El balance hídrico<sup>1</sup> del estado de Baja California incluye siete subregiones hidrológicas, 672 escurrimientos, agua proveniente del Río Colorado y subterránea. Mediante la aplicación de la NOM-011-CNA-2000, se obtienen los siguientes datos relacionados con la disponibilidad de agua para el estado:

- El volumen de agua disponible es de 3,622 millones de metros cúbicos al año.
- La demanda de agua en el estado es de 3,336 millones.
- Por lo tanto, a la fecha, la reserva de agua para el estado es de 3,622 menos 3 336, igual a 286 millones de metros cúbicos al año.

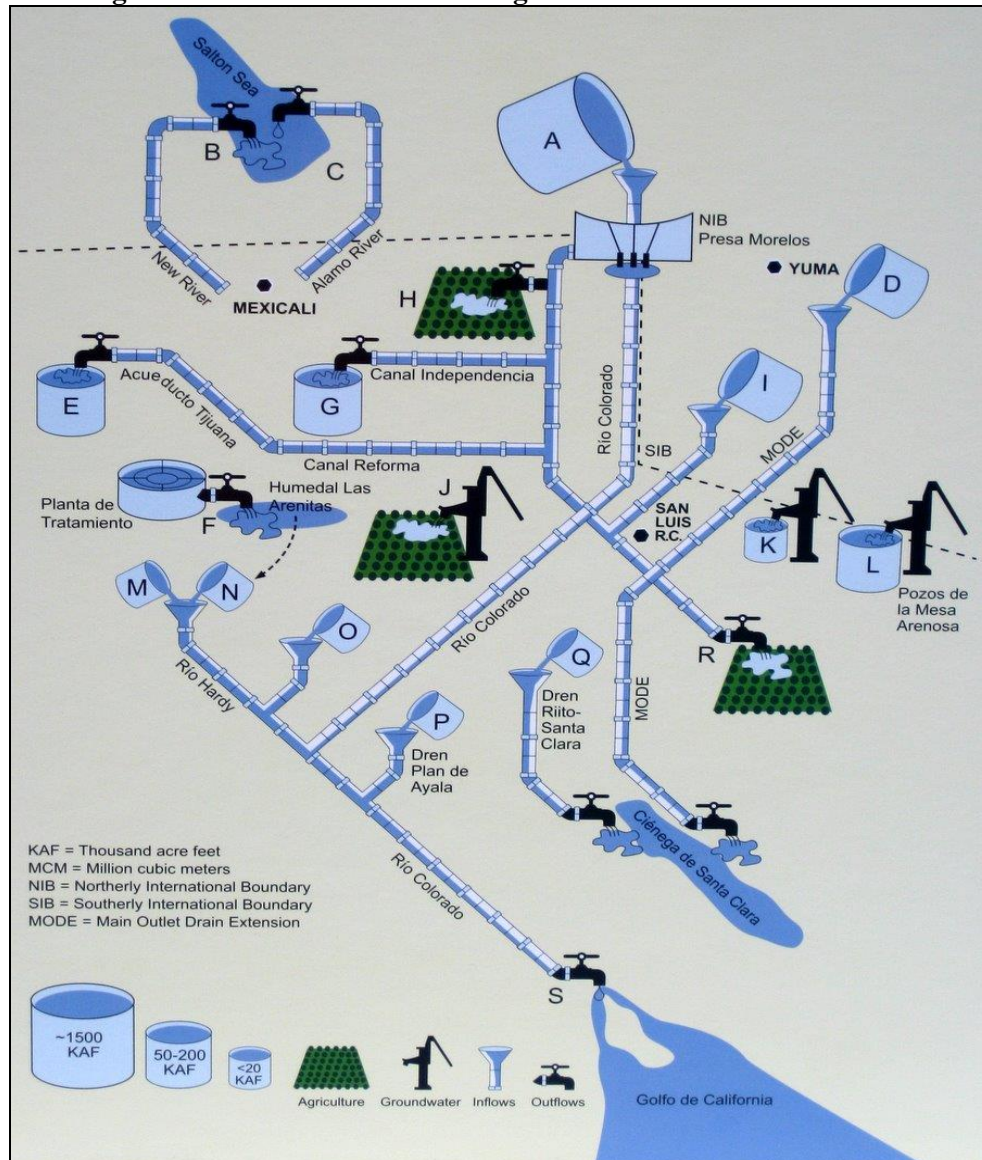
<sup>1</sup>Un balance hídrico representa la situación actual del agua de una zona determinada y su perspectiva a futuro. Los principales parámetros que intervienen en un balance hidrológico deben ser: el agua que se obtiene por la fuente principal (cuenca); el agua de lluvia (precipitación); la evapotranspiración; la infiltración y extracción de aguas subterráneas; la importación de agua que se hace de una a otra región; las cantidades de agua que se utilizan en los diferentes sectores, y el reúso de agua residual tratada (CEA, 2008).

Actualmente, la zona de estudio cuenta con un abasto seguro; el punto crítico se encuentra en que la demanda está alcanzando paulatinamente a la disponibilidad debido al aumento de la población, las inevitables consecuencias del cambio climático, así como también por el uso inadecuado y el desperdicio del recurso. Según el Programa estatal hídrico 2008-2013 los principales problemas identificados para la región correspondiente a Baja California y para la zona de Mexicali, B. C., son los siguientes:

- Inseguridad de abastecimiento de agua a futuro, tanto para zonas urbanas como rurales.
- Baja eficiencia de los sistemas de agua potable y riego.
- Sobreexplotación de los acuíferos de la región (puesto que el balance arroja resultados negativos).
- Falta de infraestructura de medición.
- Baja cobertura de alcantarillado.
- Contaminación de aguas superficiales.

Una vez que entra el agua del Colorado a territorio nacional, se desarrolla la dinámica superficial, misma que se puede apreciar en la Figura No. 11, el sistema inicia en la Presa Morelos (A), donde se desvía buena cantidad de agua hacia el área del Valle de Mexicali para ser utilizada en riego agrícola (H), (J) y (R). Para cubrir esas necesidades de agua en el riego, se suma cierta cantidad de agua proveniente de SLRC, Sonora (I), de Yuma, Arizona (D) y agua subterránea extraída por medio de pozos en la Mesa Arenosa (K) y (L). Otra cantidad de agua fluye por el Canal Independencia (G); otra más fluye por el Canal Reforma, que posteriormente es entubada y dirigida hacia Tijuana (E). El resto del agua es la que utiliza el sistema urbano de Mexicali. Posteriormente, el agua ya utilizada es procesada en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (F) y se reincorpora al sistema por medio del Río Hardy (M) y (N); al efluente subterráneo se agrega el agua infiltrada del riego agrícola (O) y la infiltración del Dren Plan de Ayala (P). Cierta cuota ambiental debe ser repuesta al medio ambiente para mantener la dinámica del sistema hídrico de la región, fluye por el Río Colorado hasta desembocar en el Golfo de California (S).

Figura No. 11.- Distribución del agua en el Delta del río Colorado.



Fuente: Hench, Flessa, Onken, y Zamora (2009) pp. 1.

## **CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA.**

### **2.1. Sustentabilidad urbana y Metabolismo urbano.**

No existe un sólo aspecto de la vida del ser humano y de su entorno que no se vea influenciado o afectado por la expansión y concentración de la población. El ritmo de crecimiento de la población mundial, ha puesto de manifiesto las omisiones del desarrollo contemporáneo: atención marginal de la equidad social y la incapacidad para sostener el proceso continuo de crecimiento económico sin causar deterioro al capital natural.

Desde finales del siglo pasado, el desarrollo sustentable como paradigma emergente, se perfila como el camino viable para modificar contrarrestar los efectos negativos del desarrollo tradicional. Desde su postura teocéntrica, el paradigma promueve un crecimiento económico que incluye costos por degradación ambiental, el mejoramiento de la eficiencia tecnológica y gestión del desarrollo, y desde la postura ecocéntrica, trabaja en la construcción de enfoques dirigidos a buscar el bienestar humano incluyendo principio de equidad social inter e intra-generacional articulando el desarrollo sostenido a partir del mantenimiento y preservación del capital natural (Allen y You, 2002).

En el ámbito urbano el término de sustentabilidad urbana es todavía confuso, puesto que las ciudades por naturaleza son insustentables, debido a que consumen gran cantidad de recursos naturales y producen baja productividad ecológica. Sin embargo, para Milton y Satterhwaite (1994) el concepto de sustentabilidad propone un enfoque útil para la evaluación, no de las ciudades en sí mismas, sino de los patrones de producción y consumo al interior de las mismas definidos en su proyecto urbano de desarrollo.

Desde esta perspectiva, la degradación, desperdicio y subestimación de recursos naturales, constituyen la oportunidad clave para promover modificaciones a los patrones de consumo, revalorización de la capacidad de carga local y regional, innovación de la tecnología urbana, entre otros factores que permiten dar continuidad al desarrollo de la sociedad e incrementar a largo plazo la productividad económica con el uso sustentable de recursos naturales, haciendo énfasis en el fortalecimiento de la gestión global y local (Leyva, 2011).

Esta perspectiva pretende tender a la sustentabilidad en el sistema urbano por medio de proyectos urbanos de servicios a largo plazo, para asegurar objetivos del desarrollo a través del uso sustentable de recursos naturales, manejo eficiente de insumos y generación de desechos.

La ciudad como el espacio físico en donde se establece la población y se manifiestan los procesos socioeconómicos; es asimismo el ámbito en donde el medio natural se apropia, se transforma y se adapta para el desarrollo de las funciones propias de la vida urbana. Para operar el concepto de sustentabilidad urbana, es necesario ver a la ciudad como ecosistema abierto requiere del flujo constante de insumos para sostener a la población y sus actividades productivas, y el incremento en el flujo de insumos como la energía, combustibles, alimentos, recursos naturales, entre otros; esto implica una considerable presión sobre el ecosistema:

*Las ciudades, construidas sobre sólo un 2% de la superficie terrestre, utilizan alrededor de un 75% de los recursos mundiales y expulsan cantidades similares de residuos, Girardet (2001) pp. 34.*

Los sistemas urbanos son complejos y se organizan en unidades funcionales, que intercambian información y materiales a través de flujos, que describen diferentes trayectorias entre la ciudad y su contexto geográfico (Margalef, 1993). Información y materiales fluyen durante la actividad cotidiana de las ciudades, estos intercambios de materia, energía e información con el medio ambiente, se asemeja a la función metabólica de un organismo vivo, al momento en que la población emplean recursos, inevitablemente generan desperdicios que transfiere a su medio, generando un ciclo metabólico (Ravetz, 2000).

Para Tjallingii (1995), un sistema urbano que maneja una estrategia dirigida solamente al mejoramiento de las condiciones humanas y aprovechamiento de los recursos naturales, no funciona correctamente; ya que las reglas de la naturaleza también deben ser incorporadas en la acción urbana, pues la naturaleza no se detiene en la periferia urbana, sino que se incorpora, de la misma manera que los procesos de la naturaleza se incorporan en la vida humana.

De acuerdo con White (1994), el concepto de metabolismo urbano acuñado por Wolman, establece que aunque en el aspecto económico los bienes se obtienen como recursos del medio ambiente, y una vez consumidos, desde el punto de vista del ecosistema han sido simplemente transformados en residuos.

La Figura No. 12 muestra la interrelación existente entre el ámbito social y el ambiental en un ciclo metabólico urbano, así como la trayectoria que forma un circuito entre los recursos y los residuos, el manejo eficiente de esta dinámica permite en el caso de los sistemas urbanos, el aseguramiento de la disponibilidad de recursos a futuro.

**Figura No. 12.- Esquema de metabolismo urbano.**



**Fuente: Elaboración propia, basado en Ravetz (2000).**

Desde el enfoque metabólico de la ciudad, el aseguramiento futuro del recurso agua, requiere del manejo eficiente del flujo de insumos, la oportunidades de mejoramiento surge con el desperdicio de agua en las ciudades, debido a que su costo para el usuario sólo refleja la entrega del líquido y excluye los costos de producción, transporte, potabilización y tratamiento una vez desechada, así mismo el costo de escasez en función de disponibilidad de agua para consumo humano y la capacidad de asimilación de desechos líquidos, en los sistemas hidrológicos de soporte.

Actualmente, el rápido incremento de la población sumada a la rápida y progresiva expansión de los sistemas urbanos, inducen cambios en la estructura económica, especialmente el crecimiento de la industria manufacturera en las zonas metropolitanas, a los que se agrega el uso más intensivo del agua y la tierra agrícola próxima a las ciudades.

### **2.1.1. Gestión sustentable del agua.**

El desarrollo tecnológico desplegado desde el siglo pasado, se ha caracterizado por conseguir beneficios y facilitado la vida cotidiana, pero ha traído consigo elevados costos ambientales, como la deforestación, la extinción de algunas especies tanto animales como vegetales, el aumento de la desertificación, la contaminación del aire y el agua, y otros problemas que no son perceptibles hasta después de mucho tiempo, como la pérdida de los servicios ambientales de los ecosistemas de soporte y el cambio climático (Conde y Gay, 2008).

Las dinámicas del medio ambiente aún garantizan el suministro y la regeneración de los recursos hídricos, situación que crea la falsa idea que el agua es un recurso ilimitado. Desde su distribución continental, el agua es un recurso natural internacional, nacional, regional y local, y al mismo tiempo multifuncional y multidimensional al estar relacionada con otros recursos naturales como el suelo o la biodiversidad. Estas circunstancias hacen que operar su manejo sea complejo y contradictorio a la naturaleza multifuncional del agua para las instituciones oficiales encargadas (Resources y COSUDE, 2003).

En la medida en que los sistemas urbanos, aumentan su tamaño, las funciones de las ciudades se vuelven cada vez más complejas, su ámbito de influencia extiende e intensifican sus flujos de intercambio de personas, bienes y servicios con las demás ciudades y su entorno natural (SEDESOL, 2012). Esta situación, promueve la destrucción de la cobertura vegetal y la

perdida de suelo agrícola, pero al mismo tiempo, aumenta la regulación artificial de los caudales de agua, la ocupación del territorio de las cuencas de captación y de las áreas de recarga de las aguas subterráneas, interfiriendo directamente en el ciclo hidrológico y clima local, dinámica que actualmente repercute seriamente sobre los recursos hídricos y el medio ambiente en general (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Las continuas descarga de aguas residuales urbanas sin o con tratamiento en los océanos y ríos, representa un desperdicio de agua y un riesgo para los cuerpos de agua receptores (White, 1994), porque estos volúmenes de agua considerados desechables, con un tratamiento adecuado, pueden restaurarse y reutilizarse, convirtiéndose así nuevamente en materia prima para ser aprovechadas en diversos sectores productivos (Pearce, 1985), y desde el enfoque metabólico estas aguas urbanas también pueden ser integradas al ciclo hidrológico regional, a partir de su aprovechamiento nuevamente una vez tratadas (Tjallingii, 1995).

Gestionar todos los recursos hídricos aprovechables es una necesidad apremiante, que requiere de ajuste de la demanda acorde a su disponibilidad espacial y temporal del agua, evitando el despilfarro y optimizando su uso. Para concretar el manejo del agua desde el enfoque de la sustentabilidad, es necesario gestionar cuidadosamente el manejo del recurso hídrico de una manera tal, que asegure su uso a largo plazo y para las futuras generaciones (Cap-Net, Partnership, y PNUD, 2005).

*Por lo tanto, la gestión integrada del recurso hídrico es un proceso sistemático para el desarrollo sostenible y supervisión del recurso hídrico en el contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales, (Cap-Net, Partnership, y PNUD, 2005) pp7.*



En este contexto, las acciones emprendidas deben orientarse a prevenir un mayor deterioro, por ejemplo, favorecer el incremento de la vegetación; mejorar las prácticas agrícolas; evitar la sobreexplotación de las fuentes de agua; mejorar los embalses de las cuencas; establecer barreras vivas (por medio de vegetación y arboledas) en áreas agrícolas que son parte de lo que los técnicos conocen como *manejo integral de fuentes de agua*, cuyo objetivo es contribuir a la protección y manejo del agua y otros recursos naturales existentes en las cuencas y apoyar a la sociedad logrando que las futuras generaciones gocen del vital líquido (Saavedra, 1991).

En este sentido los insumos de agua que requiere una ciudad para su funcionamiento cotidiano fluyen dentro del sistema urbano en diferentes sentidos y a diferentes escalas en forma de “cadena” de recursos, por lo que las escalas para el análisis de flujo de recursos hídricos en un sistema urbano, pueden ser a nivel edificio, distrito urbano, vecindario, ciudad, región o país. No obstante, en el caso del flujo del agua en la ciudad, su manejo abarca tanto el agua potable, el flujo de aguas residuales, así como la precipitación, las aguas subterráneas y los flujos superficiales (Tjallingii, 1995).

El más grande reto que enfrentan los mercados de agua para su desarrollo es combatir las influencias externas tales como sequías o inundaciones, terremotos o incendios, a causa del cambio climático (Olmstead, 2013).

De acuerdo con Olmstead (2013), muy poca aportación ofrece la literatura actual sobre lo extenso y el modo en que el cambio de clima puede alterar diversos factores como:

1. La calidad y la estructura del precio del agua.
2. Dependencia (del precio) en el mandato legal de ahorro de agua, incentivos y otras políticas.
3. Propiedad legal de derechos en sistemas de agua.
4. Las posibilidades y las restricciones en la transferencia o arriendo de agua entre usuarios.
5. Inversiones en la infraestructura del abastecimiento.
6. Operaciones en la infraestructura de abastecimiento.
7. Distribución de instituciones acuíferas en cuencas de ríos transnacionales.

No fue sino hasta después de la Agenda 21 (ONU, 1992) y de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río de Janeiro, Brasil, cuando el concepto del manejo de fuentes de agua fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones para poder llevarlo a la práctica.

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés) ofrece una definición en la que establece que el Manejo Integrado de Fuentes de agua (MIFA) es “un proceso participativo de planeación y puesta en práctica, basado en la ciencia aplicada, que une la forma del cómo cubrir las necesidades de suministro de agua de la sociedad a largo plazo y de recursos costeros, mientras se mantienen los servicios ecológicos esenciales y ventajas económicas” (Olsen, Padma, y Richter, 2006).

### **2.1.2. El manejo integrado de fuentes de agua.**

El MIFA se refiere a la prestación de los servicios de agua potable y todo lo que ello implica (drenaje, alcantarillado, disposición, tratamiento y reúso de agua residual e infraestructura), en un municipio o localidad. Dada la importancia del agua para cualquier actividad humana y para la vida misma, su correcta administración puede catalogarse como prioridad en cualquier gobierno. El MIFA debe aplicarse desde el enfoque hidráulico (infraestructura), hasta el hídrico (volumen de agua disponible), lo que asegurará el alcance y preservación de los balances hídricos de la cuenca en cuestión. El MIFA es fundamental para garantizar el suministro de agua a largo plazo y con ello asegurar la vida de todo tipo en el planeta (CAPSUS, 2011).

Por otra parte, el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, Global Water Partnership), crea el concepto de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), la cual define como un proceso cíclico y a largo plazo, que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos, con el fin de maximizar el bienestar social, de una manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas (PNUD, 2011).

La similitud entre ambos conceptos se acentúa en la prioridad de abastecer de agua a la sociedad presente sin comprometer la posibilidad del suministro del recurso a las futuras generaciones, (ambas se enfocan hacia el largo plazo). Esto se logra por medio de la aplicación de métodos y técnicas de planeación y gestión del recurso. Para este trabajo, se utilizará el concepto de Manejo Integrado de Fuentes de Agua, dado que el campo que abarca es un poco más reducido pero concreto en relación al manejo de las aguas del Río Colorado en la zona de estudio.

El MIFA involucra los diversos aspectos de la sustentabilidad, de donde le proviene lo integral., donde incluye al planeta Tierra con todos sus recursos, de manera que facilite la aportación de soluciones a los problemas hídricos. Por lo tanto el MIFA es una herramienta para el manejo del agua que hace un balance de las necesidades actuales y asegura la protección de los sistemas para suministrar el recurso a las generaciones futuras. Queda a la vista, que siendo el agua un recurso con una multitud de usos, requiere de una administración integral y ordenada.

El objetivo del MIFA es contribuir a la protección y el manejo del agua (en cantidad y calidad), de tal manera que busca maximizar el bienestar económico y social, preparando el camino hacia el desarrollo sustentable de una manera equitativa, mejorando el medio ambiente y asegurando la resiliencia de los sistemas hídricos (PNUD, 2011). La aplicación en la realidad de este concepto debe resultar en agua limpia y suficiente para la sociedad (Saavedra, 1991), además de que contempla la integración de la participación de los actores para la toma de decisiones bien informadas para aplicar una autorregulación local en cuestiones como la captación, el uso eficiente y su conservación.

Los principios que se deben considerar como base para un plan o una estrategia del MIFA, de acuerdo con la Global Water Partnership GWP (2011), son los siguientes:

1. El agua es un recurso finito, vulnerable e indispensable para la vida y un insumo imprescindible en todo proceso productivo, por lo que debe ser contemplado en los planes específicos de gestión de los recursos hídricos y en los planes generales y sectoriales.

2. El agua es un recurso único y móvil; por lo que la gestión de sus distintas fases debe realizarse en forma conjunta, articulando la gestión hídrica con la gestión ambiental.
3. El agua es un recurso de ocurrencia variable tanto espacial como temporalmente. Por lo que los planes de gestión deben contemplar obras hidráulicas de retención y conducción, con la debida consideración de sus respectivos impactos sociales, ambientales y económicos.
4. El agua se desplaza dentro de la cuenca hidrográfica de acuerdo a las características geológicas de los acuíferos, por lo que la asignación del recurso hídrico entre los distintos usuarios y el ecosistema se facilitan al nivel de cuenca; aunque muchas decisiones que afectan a la gestión de los recursos hídricos sólo pueden tomarse a nivel nacional.
5. El agua tiene usos múltiples para el consumo humano básico y para la sostenibilidad ambiental, el resto de las demandas será satisfecho conforme a las prioridades establecidas por cada país o región. Sobre la base de una valoración social, ambiental y económica, se requiere articular la planificación hídrica con la planificación ambiental y la planificación del desarrollo social y económico.
6. Los cursos de agua superficial y los acuíferos que trascienden los límites de una determinada jurisdicción política, constituyéndose en un recurso hídrico compartido. Los recursos hídricos compartidos por dos o más países deben gestionarse de manera equitativa y razonable, a fin de no ocasionar daños irreversibles, a los países involucrados que tienen el deber de informar y consultar previamente sus acciones.
7. Las múltiples actividades que se desarrollan en un territorio afectan de una u otra forma a sus recursos hídricos. De ahí la necesidad de vinculación entre la gestión hídrica y la gestión territorial.
8. El agua se transforma en ocasiones en factor de riesgo debido a fenómenos de excedencia, de escasez, contaminación o fallas de infraestructura.

9. La dimensión ética en la gestión de los recursos hídricos se logrará incorporando a la gestión diaria la equidad, la participación efectiva, la comunicación, el conocimiento, la transparencia y especialmente la capacidad de respuesta a las necesidades humanas que se planteen. Para alcanzar la plena gobernabilidad del sector hídrico se requiere de diversos factores, entre ellos, la participación efectiva de la sociedad, la descentralización de las funciones, la construcción de consensos y el manejo adecuado de los conflictos.
10. El logro de los objetivos de la planificación hídrica se alcanza mediante la adecuada combinación de acciones estructurales (infraestructura) y de medidas no-estructurales (gestión, tecnología, reglamentos, etc.).

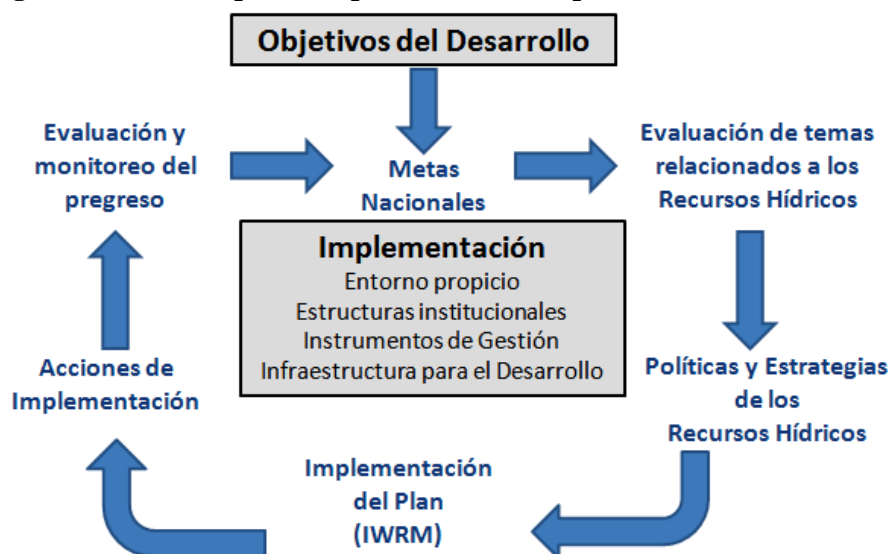
La aproximación a un esquema del MIFA puede aplicarse a regiones o a cuencas, pero también cumple su cometido si se aplica a humedales, al agua en zonas fronterizas y a estuarios, pues éstos también son parte de los ecosistemas acuáticos.

Un grupo de expertos examina las condiciones que se requieren para crear una Administración Internacional del Agua (Bernauer, 2002), pero pocos se atreven a asegurar una rigurosa efectividad. Aun así, existen numerosos ejemplos de exitosa administración de agua entre países (Morgan, 2008); pero el aspecto básico a investigar en el futuro evolucionarán ante el cambio de clima (Olmstead, 2013).

Para asegurar el uso sostenible de los recursos hídricos, el MIFA hace hincapié en la importancia de comprometer a todos los actores involucrados en una misma cuenca hidrográfica: autoridades, instituciones, sectores público y privado y la sociedad en general.

Para lograr la correcta aplicación y ejecución de un MIFA se requiere seguir ciertos lineamientos, los cuales se pueden apreciar en el esquema de la Figura No. 13, en donde el proceso es cíclico y de retroalimentación.

**Figura No. 13.- Etapas en la planificación e implementación del MIFA.**



**Fuente: Elaboración propia en base a ONU (2014), s/p.**

A partir de los 10 principios antes mencionados que se deben considerar para un MIFA y comprendiendo que se trata de un proceso cíclico de retroalimentación, donde los mayores beneficios se lograrán a largo plazo; se deja en claro, que para el presente documento de investigación, sólo se trabaja en lo que respecta a la evaluación integrada de las características mencionadas en los puntos del 3 al 8, donde principalmente se abordan puntos tales como que el agua es un recurso de ocurrencia variable, se desplaza dentro de la cuenca de acuerdo a la conformación del acuífero, tiene usos múltiples para los seres humanos, y si es un recurso compartido entre México y Estados Unidos, las múltiples actividades del metabolismo urbano indudablemente afectarán al recurso y el agua puede convertirse en un factor de riesgo a consecuencia de la excedencia, la escases, la contaminación o a fallas en la infraestructura.

Se han desarrollado distintos programas para la construcción de escenarios de cambio climático, que ofrecen estimaciones internamente consistentes de la necesidad de producir escenarios de cambio climático regionalizados, tomando en cuenta un grupo de variables climáticas, particularmente la precipitación y la temperatura (Benjamín García, 2012).

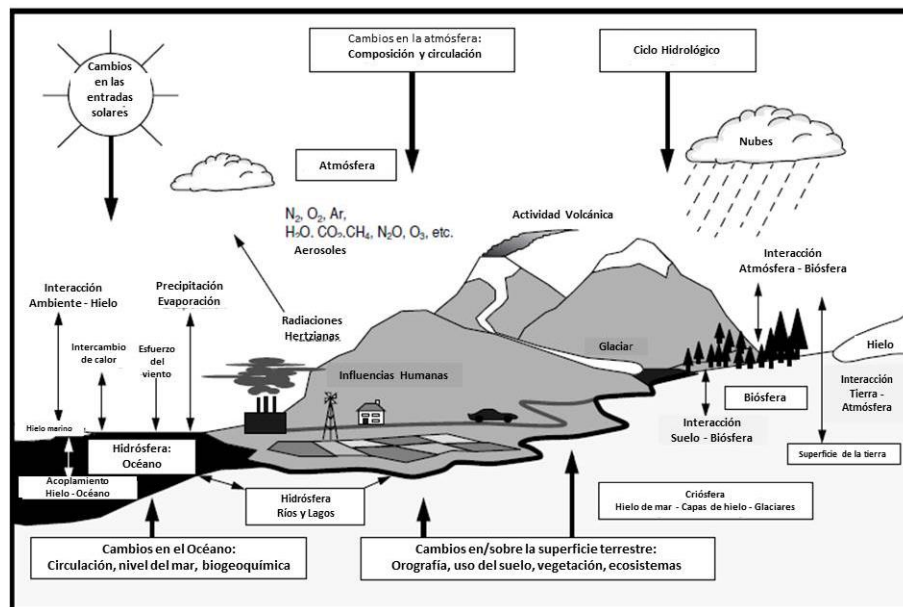
Es necesario integrar los escenarios de cambio climático al MIFA dado que el agua se transforma en ocasiones en factor de riesgo debido a fenómenos de excedencia, de escases,

contaminación o por fallas de la infraestructura; por lo que contempladas estas posibles situaciones, se pueden elaborar estrategias previas de prevención, acción y mitigación.

## 2.2. Calentamiento global y ciclo hidrológico.

El sistema climático es altamente complejo, y se integra por cinco subsistemas, atmósfera, hidrosfera, criósfera, la superficie terrestre y la biosfera (Ver Figura No. 14), además de las interacciones entre ellos (Camargo, 2012).

**Figura No. 14.- Componentes del sistema climático global.**

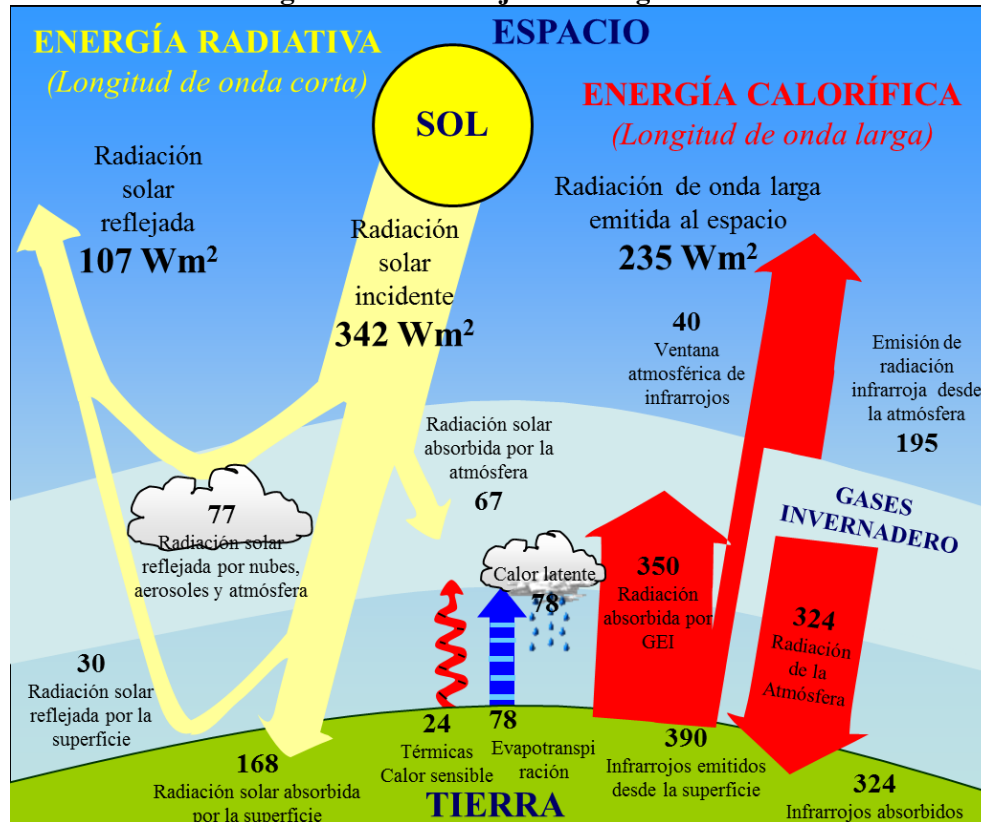


**Fuente: Baede, Ahlonsou, Ding, Schimel, Bolin, y Pollonais (s/f) pp. 88.**

Inicialmente, la Tierra y su atmósfera se calientan por la radiación solar que llega al planeta y se transfiere entre los diversos subsistemas como la hidrosfera, la criósfera y la biósfera donde se transforma en energía, que es utilizada en diversos procesos químicos y biológicos, y una cierta parte de la radiación entrante se disipa en forma de calor.

Los gases que componen a la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que la superficie terrestre emite una vez que ha sido calentada por la radiación solar, la atmósfera mantiene una especie de balance entre la recepción de la radiación solar y la emisión de radiación infrarroja que devuelve al espacio exterior, (ver Figura No. 15). Esta acción de balance energético de la Tierra permite mantener la temperatura en un estrecho margen que posibilita la vida en el planeta (Erickson, 1992; Trenberth y Kiehl, 1997).

**Figura No. 15.- Flujos de energía solar.**



Fuente: Kiehl y Trenberth (1997), pp. 206.

Durante siglos, la evolución climática natural ha sido lenta, mantenida por su propia dinámica interna, pero debido a forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares, y últimamente por los forzamientos inducidos por el ser humano, como los cambios provocados en la composición de la atmósfera por gases de efecto invernadero<sup>2</sup> (GEI) y en el uso y cobertura del suelo (IPCC, OMM, y PNUMA, 2007; Ruddiman, 2007). Estas condiciones alteradas del balance del calor y la humedad de la superficie terrestre, incrementan la temperatura media de la atmósfera cerca de la superficie terrestre y en la troposfera induciendo cambios en los patrones climáticos globales.

<sup>2</sup> Las emisiones de la actividad humana contemporánea ha provocado la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>), causantes de que parte de la energía solar que llega a la Tierra sea retenida en la atmósfera y, como consecuencia de esto, la temperatura promedio del planeta aumente considerablemente hasta llegar a un nivel en que se presenta el calentamiento global, del que se deriva un cambio climático (Erickson, 1992).



### **2.2.1. Calentamiento global.**

El clima de la tierra está en cambio, hasta mediados del siglo XIX la causa principal de sus variaciones era atribuible a procesos estrictamente naturales, hoy en día tiene en la acción antrópica de la emisión de gases de efecto invernadero, un responsable directo de sus recientes alteraciones.

Para Salazar y Masera (2010), el planeta se ha calentado 0.7 °C en periodo de 1900 hasta la fecha, y estiman que en los próximos veinte años se producirá un aumento de 0.4 °C en la temperatura superficial en el mundo. Según las proyecciones realizadas por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, OMM, y PNUMA, 2007), para los próximos decenios indican un aumento de 0.2 grados centígrados en la temperatura, y si se mantienen constantes las concentraciones de los gases de efecto invernadero registradas en el año 2000, cabría esperar un calentamiento adicional de 0.1 grados por decenio.

Según Bird y Molinelli (2001), las consecuencias negativas más significativas del calentamiento global son variadas y afectan de diferente manera a diversos sistemas naturales del planeta, en cuanto al clima, el aumento de la temperatura, derretimiento del hielo polar, aumento del nivel del mar, modificaciones en la magnitud y frecuencia de las lluvias, huracanes y tormentas, entre algunos otros eventos climatológicos.

En la salud de las personas, el calentamiento global puede producir nuevas enfermedades, propagación de plagas, deshidratación a causa del calor que entre otros aspectos generan cardiopatías y problemas respiratorios.

En la agricultura, los suelos se tornarán más secos y perderán nutrientes, lo que cambiará las características del suelo, también se propiciará la reproducción de plagas, lo que causará enfermedades a las plantas y afectará la producción de los cultivos.

Estas condiciones climáticas traerán consigo la afectación de la calidad de las aguas superficiales por el aumento de la evaporación, así como el incremento de la demanda de agua por parte de los seres vivos y, a su vez, se disminuirá la producción de ríos, lagos, embalses y cuerpos de agua; disminuyendo la cantidad de agua disponible en el acuífero. Por otra parte, al

aumentar el nivel del mar, el agua salada podría penetrar hacia los acuíferos costeros, haciendo que sus aguas se salinicen y no sean aptas para el consumo humano.

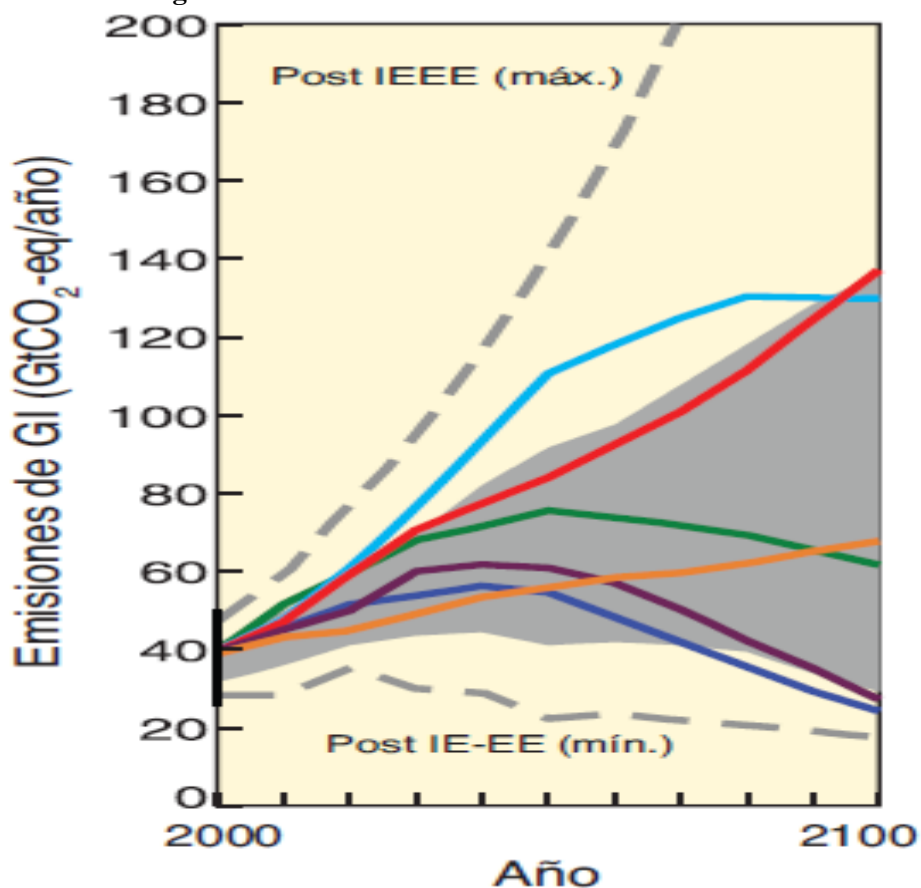
### **2.2.2. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.**

Un escenario es una descripción coherente de un posible estado futuro del mundo o de una zona determinada, no representa un pronóstico o una predicción certera; es simplemente una posibilidad de cómo podría ser el mundo en un futuro bajo ciertas condiciones específicas.

Para evaluar la posible evolución del calentamiento global, el IPCC ha proyectado diversos escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero (Houghton, Ding, Griggs, Noguer, Van der Linden, Dai *et al.*, 2001) basados en diversas hipótesis sobre el desarrollo socioeconómico del planeta. Estos escenarios de emisiones a largo plazo, se han venido utilizando para el análisis de un posible cambio climático. En 1995 esta comisión evaluó los escenarios que se habían desarrollado en 1992, posteriormente en 1996 desarrollaron un nuevo conjunto de escenarios de emisiones que sirvieron de base para el Tercer Informe de Evaluación del IPCC.

De acuerdo con Buenfil (2009), estos escenarios se clasifican en seis grupos de emisiones: bajas B1, altas A1T, medias-bajas B2, altas A1B, medias-altas A2 y bajas A1F1, que se representan con líneas de colores en la gráfica de la Figura No. 16, en donde las medias-altas A2 (en color rojo) son las que muestran la tendencia de manera directa del aumento de emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura No. 16.- Escenarios de emisiones de GI.



Fuente: IPCC, OMM, y PNUMA (2007), pp. 7.

Por otra parte, el Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés), selecciona a los principales grupos de emisiones en “familias”, las cuales son A1, A2, B1 y B2. En la Tabla No. 5 se presenta la descripción correspondiente a cada una de estas familias.

**Tabla No. 5.- Descripción de los escenarios SRES, (IPCC, 2007).**

Escenario	Descripción
A1	Supone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos, que reflejan tres direcciones alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles <b>(A1FI)</b> , energías de origen no fósil <b>(A1T)</b> , y equilibrio entre las distintas fuentes <b>(A1B)</b> .
A2	Describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento y cambio tecnológico lento.
B1	Describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información.
B2	Describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sustentabilidad económica, social y medioambiental.

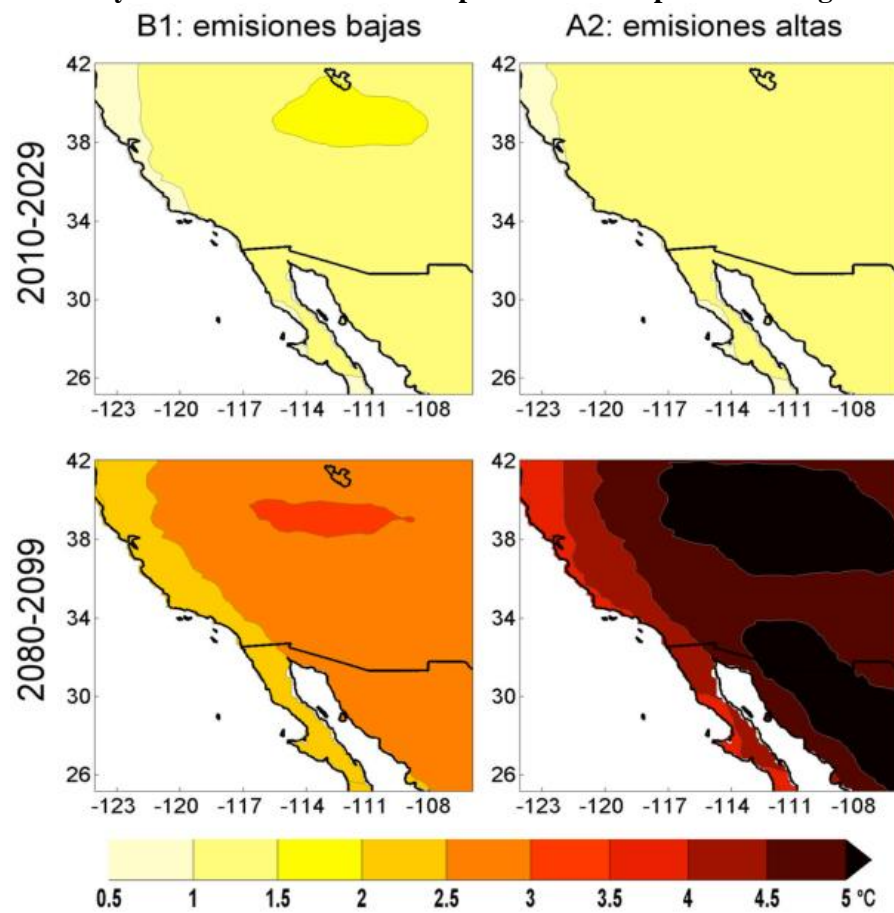
**Fuente: IPCC, OMM, y PNUMA (2007), obtenido de Benjamín García (2012).**

En el contexto nacional, se han generado escenarios del clima futuro basándose en información obtenida de diversos centros meteorológicos. Esta climatología se construye utilizando datos generados durante 30 años aproximadamente, destacando los periodos de análisis 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099, refiriéndose a cada uno de ellos, respectivamente, como climatologías de 2020, 2050 y 2080 (Conde y Gay, 2008).

Estos escenarios climáticos para México estiman un clima más cálido, con un aumento de la temperatura entre 1.5 y 2.5 grados centígrados para el año 2020, además de registrarse una reducción anual de aproximadamente 10% de la disponibilidad de agua con respecto al año 2000, y una disminución de hasta 20% de las precipitaciones en el ámbito nacional (Arredondo, 2009).

Para la franja noroeste de la frontera norte de México, el cambio en la temperatura se puede observar en la proyección representada en la Figura No. 17, que contempla escenarios de bajas y altas emisiones de gases de efecto invernadero durante dos periodos. Los efectos de los incrementos sustanciales en la temperatura sobre los sistemas hídricos, implican un aumento potencial en la evapotranspiración y como resultado, una sustancial reducción en el agua disponible, lo que afectará primeramente los sectores productivos en base al uso del agua y ocasionará la competencia con los sectores urbanos (Magaña, Matías, Morales, y Millán, 2004).

**Figura No. 17.- Proyecciones de cambio de temperatura anual promedio en grados centígrados.**



Fuente: Secretaría de Protección al Ambiente (2013) pp. 22.

De acuerdo con Cavazos, Graef, Cueto, Muñoz, y Nieblas (2010), los escenarios de cambio climático regionales para la zona Metropolitana de Mexicali, se estiman bajo emisión de gases de efecto invernadero correspondientes a los grupos A2 (emisiones altas) y B1 (bajas), y los resultados obtenidos indican aumentos de temperatura de hasta 1.5 grados centígrados para el año 2040 y una disminución de la precipitación de hasta 30%.

### **2.2.3. El cambio climático y la disponibilidad del agua.**

De acuerdo con el IPCC, OMM, y PNUMA (2007), El término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Esto se define como una variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, mismas que se mantienen durante un periodo prolongado.

Este cambio puede deberse a procesos naturales internos o a un forzamiento externo, como lo establece el IPCC en su cuarto informe de evaluación, donde confirma que la principal causa del cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por las actividades humanas.

Hoy en día, el fenómeno de cambio climático, provoca modificaciones en los sistemas naturales, biofísicos y ecológicos de la Tierra, lo cual se puede constatar por medio de la disminución del ozono estratosférico de acuerdo a estudios realizados por la EPA (2012) y Green Facts (2007), donde enfatizan que esta disminución es producto de la acelerada reducción de la biodiversidad, el agotamiento de las reservas de agua dulce y las modificaciones en los patrones de conducta de los animales, entre otros.

El incremento de la incidencia del fenómeno del cambio climático en el ámbito global, regional y local, pone de manifiesto una situación de amenaza sin precedente a los procesos biofísicos del planeta (Caparrós, 2007; OMS, OMM, y PNUMA, 2003). Ante esta contingencia, urge el diseño y construcción de mecanismos para manejar la adaptación de nuestras sociedades al cambio climático para soportar y afrontar las consecuencias de este fenómeno en lo social, en lo económico y ambiental (Arreguín, 1991).

De acuerdo a este panorama, el cambio climático puede afectar tanto la variabilidad a corto plazo como la disponibilidad a largo plazo de las fuentes de agua en muchas regiones, su impacto potencial en el abastecimiento de agua y su calidad, que afecta a todos los sectores de la economía (IPCC, OMM, y PNUMA, 2007; Olmstead, 2013).

Es por ello que durante los 90's se produjeron diversos estudios sobre los posibles impactos económicos de la relación del clima y los cambios ocurridos en la disponibilidad del agua en una escala individual, a nivel de cuencas, de ríos o por países; por ejemplo el estudio de Fankhauser (1995) en donde se determina el volumen de agua total perdido en la economía del país a causa de los efectos del cambio climático, y el estudio de Hurd y Harrod (2001) que se refiere a un amplio modelo económico, en relación a cuatro grandes cuencas en los Estados Unidos. En estos estudios se marca la pauta a seguir en el desarrollo de nuevos modelos de análisis del impacto del fenómeno del cambio climático y la disponibilidad de agua.

En este contexto, Olmstead (2013), establece que entre los aspectos relevantes para el análisis esta, el considerar el impacto sobre el bienestar, empleando los excedentes en favor del consumidor y relacionan con las inversiones en la infraestructura en función de la localización del agua y con los consumidores así como con las condiciones geográficas de las cuencas. También es conveniente que en los nuevos modelos analíticos, se consideren a las instituciones que administran el abastecimiento de agua, la evolución de la demanda bajo diversos escenarios del cambio de clima, así como también la simulación de la manera en que estos cambios afectarán la conducta de los usuarios. Modelos como este, requieren información acerca de cómo los usuarios responden ante el cambio de la política del agua tales como: incremento en el precio o el incremento de oportunidades para atender a otros usuarios.

### **2.3. Principios de modelación dinámica.**

La ciencia clásica determinista afronta dificultades para abordar y explicar fenómenos complejos, como son aquellos que conciernen al estudio del clima, la ecología o las sociedades humanas. Actualmente los paradigmas científicos convergen en una visión holística, con la cual, paulatinamente se ha avanzado en la discusión de la indivisibilidad de lo simple y lo complejo, del todo y sus partes, y del orden y el desorden, y entre los principales marcos teóricos destaca la teoría general de sistemas.

De acuerdo con Sánchez-Santillán y Garduño-López (2007), el abordaje de los sistemas complejos desde la teoría general de sistemas, se fundamenta en dos principios: 1) es posible entender completamente el mundo y 2) que dicho entendimiento se puede lograr mediante el método analítico.

Desde este enfoque, la realidad se presenta bajo dos aspectos complementarios e inseparables: 1) lo estructural-estático y 2) lo funcional-dinámico, en donde cada elemento se sitúa en la estructura de acuerdo a la función que le compete. Así, estructura y función son dos formas complementarias de una misma realidad y ninguna describe, aisladamente y en forma total, al objeto de estudio; sin estructura, la función desaparece. Desde su enfoque diacrónico se resalta la función, mientras que en uno sincrónico, la estructura; no obstante, en un modelo estructural-funcional se reconoce la integración adecuada de estos dos.

Los principales objetivos de la teoría general de sistemas son:

- Investigar las analogías, paralelismos, semejanzas, correlaciones e isomorfías<sup>3</sup> de los conceptos, leyes y modelos en las diversas ciencias.
- Fomentar la transferencia de conocimientos entre las diversas ciencias.
- Estimular el desarrollo y formulación de modelos teóricos en aquellos campos que carecen de ellos, o en los cuales los mismos son rudimentarios e imperfectos.
- Promover la unidad de las ciencias y tratar de obtener la uniformidad del lenguaje científico.

---

<sup>3</sup> La isomorfía se define como la fórmula, pauta, estructura, proceso o interacción que demuestra ser la misma, sólo en términos generales, en diversas disciplinas y escalas de magnitudes dentro de los sistemas reales y cambia en función del sistema que se analice (Sánchez-Santillán y Garduño-López, 2007).



Dentro de este paradigma, se estudia a los sistemas con todas sus conexiones internas, y externas, el procedimiento analítico que se sigue para entender a la complejidad del sistema, consiste en desarmar en partes discretas aquello que se pretende entender, tratar de explicar el comportamiento de las partes separadas, y luego amalgamar el entendimiento de éstas en una comprensión de la totalidad, por lo cual análisis y síntesis son complementarios, ésta es la lógica que sigue el pensamiento sistémico (Von Bertalanffy, 1989).

### **2.3.1. Propiedades de los sistemas.**

Un sistema se concibe entonces conformado por elementos (estructura), e interacciones (función), que vinculan a estos componentes. Las relaciones pueden ser recíprocas (principio de circularidad) o unidireccionales. El resultado de estas interacciones es la organización del sistema, que cuando persiste, genera posibles escenarios que no son completamente indeterminados o regidos por el azar. Es factible por lo tanto, aportar una descripción suficiente de un sistema completo en una forma abreviada o corta. Un aspecto fundamental de los sistemas es la existencia de restricciones, que limitan el ámbito dentro del que se sitúan sus estados futuros (Sánchez-Santillán y Garduño-López, 2007).

Cuando un elemento o un subsistema se combina con otros en el interior de un sistema, aparece cierta convergencia de comportamiento, en el sentido de que cada elemento influye sobre las posibles variaciones de los demás y, como consecuencia, el número de posibilidades que a priori podría parecer muy grande, queda más o menos limitado. Por lo general un sistema tiende a converger o a cerrarse sobre sí mismo; en caso contrario diverge, con posibilidades de desbordarse y colapsar.

Entonces, el sistema como entidad autónoma dotada de una cierta permanencia, constituida por los elementos que se conforman como subsistemas, estructural y funcionalmente interrelacionados, se transforma dentro de ciertos límites de estabilidad, gracias a autorregulaciones le permiten adaptarse a las variaciones de un entorno específico (Grant, Marín, y Pedersen, 2001).

Como herramientas útiles los sistemas sirven para contestar una pregunta, resolver un problema o demostrar una teoría, usando un conjunto de principios y técnicas de la teoría general de sistemas, para la integración efectiva del conocimiento obtenido por medio de la

descripción, clasificación, o a través del análisis matemático y estadístico de las observaciones que se hacen de la realidad (Grant, Marín, y Pedersen, 2001).

### **2.3.2. Análisis de sistemas.**

El análisis de sistemas es tanto una filosofía como un conjunto de técnicas cuantitativas, desarrolladas para enfrentar problemas que comprenden sistemas complejos, orientadas a resolver los problemas en su totalidad, considerando de manera conjunta todas sus partes, utiliza matemática avanzada, procedimientos estadísticos e informáticos, para representar las características más importantes de la dinámica de sistemas complejos (Grant, Marín, y Pedersen, 2001).

El análisis de sistemas es la aplicación del método científico a problemas relacionados con sistemas complejos. Es un conjunto de teorías y reglas que sirve para estudiar, describir y hacer pronósticos sobre el comportamiento futuros en base a las condiciones preexistentes.

### **2.3.3. Dinámica de sistemas.**

En la década de los setenta, el Club de Roma (organización no gubernamental fundada en 1968) realizó los estudios sobre las posibles evoluciones del mundo y su sostenibilidad. Los trabajos desarrollados inicialmente por Jay Forrester y luego por Dennis Meadows introdujeron a la dinámica de sistemas como herramienta prospectiva, posteriormente, combinaron la tradición de estudios de futuro y las herramientas de simulación con la dinámica de sistemas (Gómez, Zuluaga, y Hoyos, 2009).

En los años noventa surgen los estudios de previsión (*foresightstudies*), que emplean herramientas específicas de acuerdo con el contexto en donde se vayan a aplicar e integran una compleja serie de variables que intervienen en el sistema para prever su comportamiento en un futuro determinado (Medina y Ortegón, 2006). La prospectiva, es una disciplina de este tipo que sirve para el análisis de sistemas, y su objetivo es la valoración del impacto como consecuencia de la intersección de los estudios futuros, la planeación estratégica y el análisis de políticas a través de un mayor entendimiento de la situación actual y las tendencias del sistema a futuro.

Cabe señalar, que el propósito de estos estudios no es predecir eventos, sino reflexionar, comprender y crear alternativas que lleven a lograr los futuros deseados y evitar o disminuir el efecto de los eventos indeseados.

#### **2.3.4. Modelos de simulación.**

Un modelo, es una abstracción selectiva de la realidad. Es la descripción formal (física o matemática) de los elementos más significativos de un problema (Richmond, 2001). Estos elementos son parte del *sistema de interés*. Los elementos más significativos del sistema de interés, son las variables que participan en el fenómeno estudiado y los factores de cambio a futuro. Por supuesto, ningún modelo sistémico puede ser estático, porque ningún sistema lo es, salvo quizás en el instante en que deja de ser un sistema y empieza a descomponerse en sus elementos.

En todos los casos, los modelos son construcciones diseñadas por un observador que persigue identificar y precisar las relaciones sistémicas complejas; asimismo, todo sistema real puede ser representado por más de un modelo, cuya expresión depende tanto de los objetivos del modelador, como de su capacidad para distinguir las relaciones relevantes enfocadas a tales objetivos; de cualquier manera, la esencia de los modelos sistémicos es la simplificación.

Existen modelos de diversos aspectos de la realidad, que se simulan con el fin de darle sentido a lo que se vive cotidianamente, y también sirven para ayudar a la toma de decisiones, mismas que forman nuestras acciones. El método de simulación se puede utilizar para cualquier aspecto de la vida cotidiana, enmarcado dentro del “pensamiento sistémico”, y el uso del software para facilitar el entendimiento y comprensión de la simulación (Richmond, 2001).

El primer componente del pensamiento es construir modelos mentales, segundo componente es la simulación de esos modelos mentales, y por último la representación de la relación que existe entre los elementos que intervienen (Ford, 1999; Richmond, 2001).

El pensamiento sistémico lleva consigo un léxico basado en iconos llamado el lenguaje de los "flujos y stocks." Este lenguaje constituye una especie lengua franca que facilita el pensamiento interdisciplinario y por lo tanto la aplicación de una perspectiva "horizontal".

Los modelos de simulación son aquellos para los cuales es imposible encontrar una solución analítica y, por lo tanto, deben resolverse numéricamente usando un conjunto de operaciones aritméticas. Este tipo de modelos se deben resolver matemáticamente para cada intervalo de tiempo deseado, debido a la complejidad del sistema; resulta imposible construir y manipular un prototipo.

De acuerdo con Ford (1999), la modelación de la dinámica de sistemas (también llamada prospectiva dinámica de sistemas) se trabaja por medio de escenarios gráficos utilizando un *software* de simulación, y mediante estos se pueden simular múltiples escenarios obtenidos con los procesos prospectivos, en los cuales se establece el comportamiento tanto de las variables internas como de las externas, para el manejo de flujos controlados, hasta definir el impacto deseado sobre el elemento de interés y los efectos indirectos sobre los elementos cercanos.

### **2.3.5. Construcción del Modelo dinámico.**

La construcción del modelo de simulación dinámica de un sistema, comienza con el trazo del diagrama general de flujos, después la definición de ecuaciones y especificación las cantidades numéricas (datos). Posteriormente se simula el modelo, para obtener los resultados. Por último los resultados de la simulación pueden ser examinados con instrumentos de análisis para descubrir la conducta dinámica de las variables del modelo.

Los métodos para resolver problemas se pueden comparar en relación al entendimiento y a la cantidad relativa de datos que se tengan disponibles. El entendimiento se refiere a la integración de todo el conocimiento que se tenga sobre el sistema.

De acuerdo con Grant, Marín, y Pedersen (2001), se tienen tres posibilidades en cuanto al método para resolver problemas:

- Si se tiene un buen entendimiento de la estructura y dinámica del sistema y además se cuenta con datos de los procesos que ocurren dentro de él, la mayoría de las veces se podrán construir modelos matemáticos y resolverlos analíticamente.

- Si se cuenta con buenos datos, pero poco entendimiento de los procesos que lo generaron, se podrán utilizar los análisis estadísticos para detectar patrones que ayudan a generar hipótesis acerca de la naturaleza de dichos procesos.
- Si se tienen pocos datos, pero si se entiende la estructura y dinámica del sistema; se puede usar el análisis de sistemas y la simulación para probar las hipótesis acerca del funcionamiento del sistema.

En la práctica, algunos de los métodos para resolver problemas se superponen ampliamente o incluso van cambiando conforme se avanza en el proceso, es decir, a medida que aumenta el entendimiento y la cantidad de datos, puede cambiar el método, hasta comprender por completo el sistema y por lo tanto se encontrará la solución al problema.

### **CAPITULO 3. METODOLOGÍA.**

Esta investigación es de tipo cuantitativo, la selección de instrumentos metodológicos se organiza con el propósito de observar a largo plazo en la zona metropolitana de la ciudad de Mexicali, el enfoque de la oferta-demanda de agua de acuerdo a la variabilidad en la captación que suponen los escenarios de cambio climático, en función del sistema hidrológico regional y las tendencias en el consumo y la capacidad instalada de las infraestructuras hidráulicas existentes.

Para la realización del estudio, se toma en cuenta la revisión de documentos oficiales, normatividad y documentos técnicos, sobre temas relacionados con la demanda de agua de los usos consuntivos, la disponibilidad, la variabilidad de caudales según los escenarios regionales de Cambio climático.

La metodología para la elaboración del modelo resulta de la combinación del análisis de sistemas, de técnicas de simulación, y análisis de escenarios, para definir y organizar subsistemas de interés (Latorre, 1996), implicó el recoger e incorporar los siguientes datos sobre los usuarios del agua, la capacidad del sistema, y reglas de operación de flujos y caudales.

De acuerdo con Von Bertalanffy (1969) y Grant, Marín, y Pedersen (2001) en la construcción de un modelo de simulación usando la dinámica de sistemas se pueden identificar las siguientes etapas:

1. Determinación de las variables a usar en el modelo y las relaciones entre las variables.
2. Construcción de diagramas (de flujo en este caso).
3. Determinación de la estructura matemática del modelo (ecuaciones).
4. Validación y Experimentación (en el presente trabajo sólo se presentarán los resultados obtenidos, tal como se especifica en la introducción de este mismo).

El enfoque de sistemas adoptado en la construcción del modelo (Ford, 1999; Grant, Marín, y Pedersen, 2001) permite el análisis de la disponibilidad del agua, integrando el análisis de la oferta del sistema hidrológico compuesta por la hidrología superficial y subterránea; y los mecanismos de demanda dados por el crecimiento de la población y la capacidad de la infraestructura de agua y alcantarillado que condicionan a los usos consuntivos del agua existentes en la zona metropolitana de Mexicali.

La disponibilidad y los mecanismo que delimitan a las demandas de los usos consuntivos del agua en el área de estudio, son las fuerzas impulsoras en el sistema, la presión sobre el sistema se ejerce en términos de escasez del recurso hídricos dada por la variabilidad latente en la disponibilidad de agua que representa el cambio climático y el incremento de las demandas de agua provocado por las tendencias de desarrollo regional.

En el modelo, las variables se organizan en relación del funcionamiento del sistema hídrico, y el manejo de la disponibilidad del agua a través de mecanismos que se utilizan en la regulación y control de los usos consuntivos del agua. El modelo general se integran por subsistemas de interés como el subsistema de Población y demanda de agua incluye variables que caracterizan a la tendencia de crecimiento de la población municipal de acuerdo con CONAPO (2003) basado en INEGI (2001), y el de distribución y capacidad de proceso de la infraestructura de agua potable obtenidos de Leyva (1999) y actualizados con CESPMP (2012).

La estructura y dinámica del Subsistema Hidrología superficial se elaboró a partir del esquema de Hench, Flessa, Onken, y Zamora (2009), y se complementó con los escenarios regionales de cambio climático propuestos por Christensen, Wood, Voisin, Lettenmaier, y Palmer (2004).

El Subsistema Hidrología subterránea, se elaboró a partir de del sub modelo planteado en Vanuytrecht, Raes, Steduto, Hsiao, Fereres, Heng *et al.* (2014). La relación de variables que compone a este sistema se encuentra en la página 76.

Las condiciones iniciales de las entradas al sistema se componen en primer lugar por la recarga vertical; mientras las salidas se compone por la evapotranspiración, por salidas horizontales hacia el mar y las extracciones por bombeo. Cabe mencionar que los supuestos aquí planteados consideran la naturaleza del mercado del agua a través de la presión que ejercen los aspectos demográficos internos de la zona de estudio.

Los escenarios analizados en esta tesis plantean argumentos sobre el comportamiento a largo plazo del sistema en condiciones particulares de cambio climático, de la configuración de la infraestructura del manejo de agua y las posibilidades de juste en la demanda.

Se construyen tres escenarios alternativos, uno basado en las tendencias de demandas y de disponibilidad de agua, otro siguiendo las tendencias de las demandas y en presencia de cambio climático, y finalmente se construye otro en presencia de cambio climático y manejo eficiente de fuentes de agua que contempla la recuperación de agua residual y reducción de la dotación de agua. Con la simulación de estos tres escenarios, permite delinear una amplia gama de situaciones del cómo se afectará la disponibilidad de agua, debido al cambio en la captación regional y las demandas, y la disponibilidad inicial representa la base de comparación del análisis de escenarios.

El área de estudio comprende la zona metropolitana de la ciudad de Mexicali (Gob. BC, 2010), compuesta por las localidades del total de las delegaciones del Municipio de Mexicali, que se distribuyen en la cuenca baja del Río Colorado, cuerpo hidrológico que resulta ser la fuente principal de abastecimiento local y estatal.

Actualmente, factores como el incremento de la población y la demanda en la región, así como la presencia de eventos de sequía y estiajes cada vez más largos, y el eminente efecto del cambio climático a la disponibilidad de agua del Río Colorado, acelerando el proceso de escasez del recurso y la generación de conflictos en los usos consuntivos del agua en la región.

Los asentamientos humanos en Baja California participan plenamente de los cambios poblacionales que afectan al país, con un adicional aportado por el ámbito fronterizo. En la actualidad, el Estado cuenta con una población de 3,155,070 habitantes, lo que representa el



2.8% de la población total del país, y se compone de un 92% de población urbana y un 8% de población rural (INEGI, 2014).

Para el año 2010, en el municipio de Mexicali se localizaban 1,474 localidades, en la Tabla No. 6 se enlistan las principales y el tamaño de población, donde Mexicali se encuentra en la cabeza por ser la localidad más grande en cuanto a territorio y población.

**Tabla No. 6.- Localidades de Mexicali, B.C.**

<b>Localidad</b>	<b>Población</b>
Mexicali	689,775
Santa Isabel	29,311
Guadalupe Victoria	17,119
San Felipe	16,702
Puebla	15,168
Progreso	12,557
Ciudad Morelos	8,243
Colonia Venustiano Carranza	6,098
Ciudad Coahuila	5,617
Vicente Guerrero (Algodones)	5,474
Delta	5,180
Ejido Hermosillo	5,101
Benito Juárez	4,167
Nuevo León	3,655
Poblado Paredones	3,332
Michoacán de Ocampo	3,086

**Fuente: COPLADE (2014), INEGI (2014) y H. Ayuntamiento de Mexicali (2012).**

En este contexto, la zona metropolitana de Mexicali es relativamente joven y en pleno desarrollo, experimentando un constante crecimiento económico y poblacional, seguido por una creciente demanda de servicios, en particular de abasto de agua, situación que ejerce una enorme presión sobre las fuentes de agua y el medio natural.

### **3.1. Subsistema población y demanda de agua.**

Este subsistema se construye a partir de la estrecha relación existente entre la dinámica de crecimiento de la población y la demanda traducida en consumo de agua, que mantiene una relación directamente proporcional, pues a mayor cantidad de población, mayor será la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda.

### **3.1.1. Consumo de agua.**

La distribución de los usos consuntivos del agua en Baja California al 2010, se constituía de un 84% del agua es destinada para uso agrícola, el 8% para uso industrial y el 8% restante para uso urbano (Álvarez, 2010).

Para el año 2010, el municipio de Mexicali tenía una población de 936,826 habitantes e incluye una dispersa zona rural que registra 294 poblados, que suman 203,000 habitantes (INEGI, 2010a), todos ellos dependientes por completo de las aguas del Río Colorado.

En el Registro Público del Agua de la Comisión Nacional del Agua, a la ciudad de Mexicali se le asignan 82 millones de metros cúbicos anuales, por lo que 325 litros le corresponden a cada habitante diariamente (CNA, 2010), un suministro superior al promedio nacional que es de 264 litros por persona, lo que representa un 23% más que la media nacional (SEMARNAT, 2012).

En cuanto a la cobertura del servicio en el ámbito doméstico, en Mexicali, 251,280 viviendas habitadas cuentan con el servicio de agua de la red pública municipal, lo que representa 99% de cobertura (INEGI, 2010a).

De acuerdo con la Comisión Estatal de Agua (CEA), las proyecciones a futuro para la ciudad de Mexicali indican que la oferta de agua será suficiente hasta el año 2018, y a partir de 2019 y hasta 2030 se necesitarían nuevas asignaciones; se cree que para el año 2019 se requerirían 24 litros por segundo extras; para 2025 serían necesarios 425 litros por segundo, y para el año 2030, alrededor de 858 litros extras por segundo (CEA, 2008).

Lo anterior implica la necesidad de una planeación estratégica del agua a mediano y largo plazo que asegure la sustentabilidad de este recurso. Mexicali cuenta con una cobertura del servicio de agua potable mayor al 99%. La red del sistema de abastecimiento de agua en la mancha urbana tiene 2,888.20 kilómetros lineales de tubería de diferentes diámetros (CESPM, 2012).

La ciudad de Mexicali forma la gran parte del consumo de agua potable en la zona metropolitana, Las estadísticas sobre el consumo de agua potable en la ciudad para el año 2001 reportaban un consumo de 82, 000,000 m<sup>3</sup> / año (Cohen y Henges-Jeck, 2001), según la

Comisión Estatal del Agua (CEA), en el 2008 el consumo fue de 84,392,700 m<sup>3</sup> / año (CEA, 2008) y en 2009 nuevamente se registró un consumo de 82,000,000 m<sup>3</sup> / año. Esta disminución en el consumo de agua puede atribuirse a la constante campaña de información por parte de los diferentes medios de comunicación tratando de concientizar a las personas en el correcto uso del agua y procurar su ahorro (Salazar y Pineda, 2010).

En cuanto a la cobertura del servicio de agua potable en Mexicali, B.C., los datos indican altos porcentajes desde que inició actividades la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), pues en 1983 la cobertura era del 95%, en el año 1996 se registró una cobertura del 96% y actualmente la ciudad de Mexicali cuenta con una cobertura del servicio de agua potable mayor al 99% (CESPM, 2014).

Por otro lado y siendo también un servicio que proporciona la CESPM (2014), el alcantarillado público también ha ido aumentando paulatinamente con el paso del tiempo, en 1995 se tenía una cobertura del 75%, en 1997 la cobertura era del 89% y actualmente Mexicali cuenta con cobertura de alcantarillado público al 95% aproximadamente.

### **3.1.2. Situación de la infraestructura existente.**

El abasto de agua potable es operado por la CESPM a través de tres plantas potabilizadoras en Mexicali, las cuales proporcionan servicio a la población de la siguiente manera: El canal Benassini abastece de agua a las plantas No. 1 y No. 2. La Planta Potabilizadora No. 1 ubicada en la colonia Pro-Hogar, que opera desde 1963 con una capacidad instalada de 1,800 litros por segundo; la Planta Potabilizadora No. 2 ubicada en la colonia Plutarco Elías Calles, inició operaciones en 1993 y su capacidad instalada es de 2,500 litros por segundo. El Canal Reforma abastece a la Planta Potabilizadora No. 3 en la colonia Xochimilco que a partir del 2007 produce 1,250 litros por segundo (CESPM, 2014).

Para la zona del Valle de Mexicali, el consumo de agua potable para uso doméstico y en agricultura en 2001 se indica que fue de 1,760 millones de metros cúbicos / año (Cohen y Henges-Jeck, 2001) y para el año 2009 el consumo continúa siendo el mismo según la información documentada.

La magnitud y la dirección en la adaptación al clima a través de inversiones en la infraestructura y cambios en la operación de la misma son críticos, ya que el propósito

principal de la infraestructura es enfrentar la variabilidad del abastecimiento, ya sea almacenando agua para los periodos de sequía o prepararse para tener espacio suficiente en dado caso de abundantes flujos durante épocas de precipitación o periodos de inundación (Olmstead, 2013).

La parte norte de México y el sur de Estados Unidos serán regiones donde el déficit de agua será exacerbado debido a incrementos en la temperatura y reducción en la precipitación (IPCC, 2007 en (R. García, Santillán, Ojeda, y Quintero, 2012). Los incrementos de temperatura para el período 2070-2099 serán del orden de 3.5°C en el norte del país, bajo el escenario A2. (Tejeda-Martínez et al. 2008, en (R. García, Santillán, Ojeda, y Quintero, 2012).

La adaptación para atender los cambios de clima, tanto en frecuencia o severidad, en relación con el recurso agua suele ser más difícil que adaptarse a los cambios del clima en temperaturas o precipitación (Hansen, Libecap, y Lowe, 2009).

En todo caso, deben hacerse gastos importantes en la infraestructura acuífera para adaptarla al cambio climático.

Diversos estudios indican que se pueden esperar cambios en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (ECE), como las ondas de calor, sequías e inundaciones, en diversas regiones del mundo en respuesta al cambio climático global (IPCC, OMM, y PNUMA, 2007).

Otra evidencia del cambio climático son las temperaturas récord que desde hace algunos años se vienen registrando en diversas ciudades del mundo, y particularmente en México, principalmente en Mexicali, Guadalajara, Hermosillo y Zacatecas (Calderón, 2008).

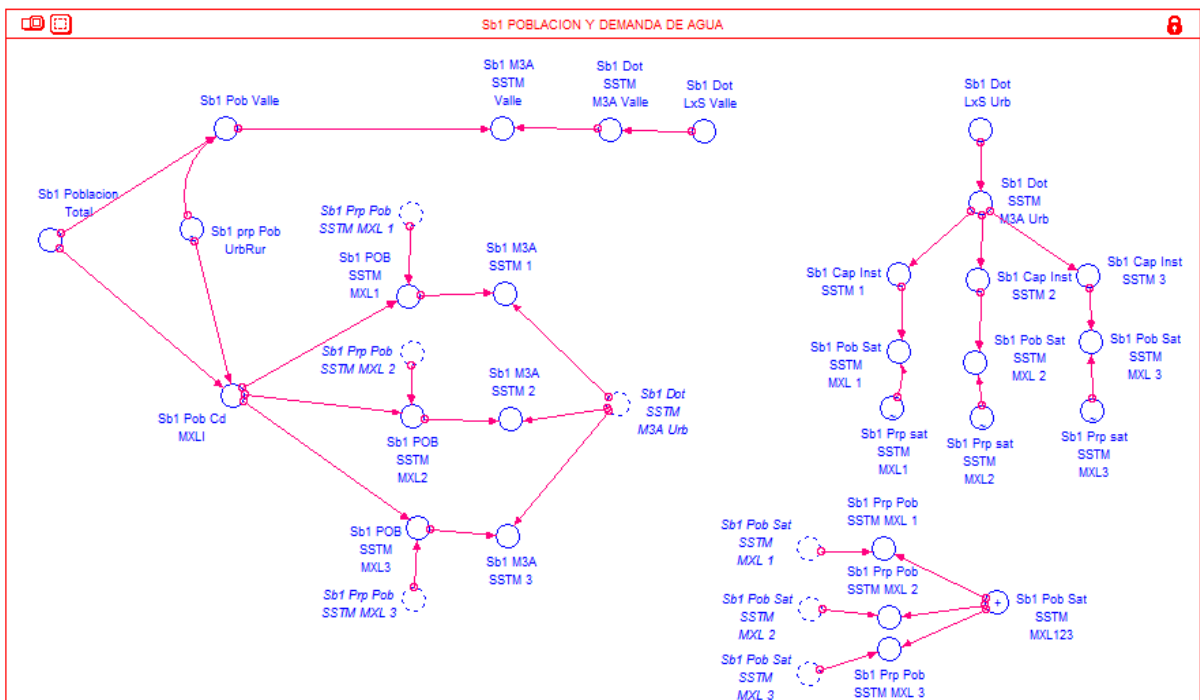
Tanto por el incremento de la población, el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación, se tendrá una evidente reducción del cauce acuífero que, por otra parte y a corto plazo, verá incrementada la demanda y con ello los costos de captación, conducción y distribución, que ante la menor disponibilidad del líquido, podría ser afectado por la contaminación o por fallas de la infraestructura que seguramente conducirán a conflictos de orden social con graves repercusiones para la vida de la población.

### 3.1.3. Construcción del subsistema población y demanda de agua.

Los datos del aumento de la población y demanda del vital recurso, para el presente modelo de simulación se utilizaron como antecedentes de cambio climático, los últimos resultados del IPCC (2007) y los estudios realizados en la cuenca del Río Colorado (Christensen y Lettenmaier, 2007; Miller, Bashford, y Strem, 2003).

La Figura No. 18 muestra las variables que se interconectan para crear la dinámica del subsistema población y demanda de agua, tales como la población de la ciudad de Mexicali, la población de las localidades que integran la zona metropolitana y la del Valle de Mexicali, estas cantidades se interconectan con el volumen de agua disponible y se crea el flujo que genera el “metabolismo urbano” en cuestión.

**Figura No. 18.- Subsistema "Población y demanda de agua" (Stella).**



Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella el 12 de marzo 2014.

**Tabla No. 7.- Acotaciones que corresponden a la Figura No. 18.- Subsistema "Población y demanda de agua" (Stella).**

<b>Cuadro de Acotaciones</b>	
prp	proporción
pob	población
dot	dotación
cap.inst.	capacidad instalada
pob.sat.	población satisfecha
LXS	litros X segundo
M3A	metros cúbicos de agua
SSTM	sub-sistema

**Fuente: Elaboración propia el 12 de junio de 2014.**

### **3.2. Subsistema de Agua Superficial.**

Aguas superficiales son las que escurren sobre la superficie del suelo. Estas se producen por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. En el caso de este trabajo se refiere principalmente al caudal del Río Colorado. Una vez producida, el agua superficial sigue los desniveles que se le presentan.

#### **3.2.1. Hidrología superficial.**

Una de las funciones primordiales de la hidrología superficial, es servir como captador de agua y en sistemas áridos como medio de distribución, aquí las variables relevantes son la precipitación y la evaporación anuales. Las lluvias son muy escasas, el municipio de Mexicali tiene uno de los registros de precipitación total anual más bajo de todo el país, pues es menor a los 50 mm. El promedio anual de evaporación es de 2,350 mm y la radiación solar directa se ubica por arriba de los 6.5 kw/m<sup>2</sup> al día (Camargo, 2012).

Derivado de estos datos del agua en la región, la Tabla No. 8 muestra el balance del acuífero del Valle de Mexicali, con los siguientes datos según la CONAGUA.

**Tabla No. 8.- Balance del acuífero del Valle de Mexicali.**

<b>Balance del acuífero del Valle de Mexicali</b>	
Recarga vertical por lluvia	4.6 hm <sup>3</sup> / año
Recarga por infiltración del Río Colorado	151.6 hm <sup>3</sup> / año
Entradas subterráneas horizontales	167 hm <sup>3</sup> / año
Recarga inducida	197.3 hm <sup>3</sup> / año
Evapotranspiración	11 hm <sup>3</sup> / año
Bombeo	602 hm <sup>3</sup> / año
Salidas subterráneas	2.5 hm <sup>3</sup> / año

**Fuente:** Elaboración propia con datos obtenidos de CONAGUA (2009), pp. 13-16.

### **3.2.2. Construcción del subsistema agua superficial.**

Para simular la dinámica del agua superficial de la cuenca del Río Colorado, se utilizaron las variables descritas anteriormente. Se inicia con la entrada de agua por la Presa Morelos, la distribución hacia la Presa Benassini y al Valle de Mexicali, el paso y tratamiento en las plantas potabilizadoras, su distribución hacia los diferentes sectores, recuperación y tratamiento de aguas residuales para su reúso y finalmente el agua que se retorna al sistema por medio de los ríos Nuevo o Hardy.

Para la determinación del caudal ecológico del Río Colorado y para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo, se adoptaron los criterios del Método de Tennant o de Montana desarrollado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, (US Fish and Wild Life Service); y se basa en el mantenimiento del 10% de los caudales anuales promedio para garantizar la sobrevivencia de las especies que dependen del río, Tennant, 1976 en González y Banderas (2007).

### **3.3. Subsistema de Agua Subterránea.**

Se refiere al agua contenida en el acuífero Valle de Mexicali, el cual se ubica en el extremo norte de Baja California, en Mexicali. Colinda al norte con Estados Unidos, al este con el acuífero de San Luis, al oeste con el acuífero Laguna Salada y al sur con el acuífero El Chinero y con el Golfo de California. Cubre una superficie de 4,908 km<sup>2</sup> entre los paralelos 32 grados 43 min latitud norte y 115 grados 48 min. de longitud oeste.

Existen en el acuífero un total de 1,081 pozos, de los cuales;

685 para uso doméstico o abrevadero 63.3 %

191 son para uso agrícola, 17.8 %

124 para uso industrial, 11.5 %

80 para abastecer centros de población, 7.4 %

De modo que se extraen, 1 hm<sup>3</sup> / año de agua para uso doméstico, 588 hm<sup>3</sup> / año para riego y 13 hm<sup>3</sup> / año para zonas urbanas. Los pozos para el sector industrial se localizan en Cerro Prieto y dado que extraen de niveles profundos, de zona de rocas fracturadas se considera que se encuentran en otra unidad acuífera. La extracción total es de 602 hm<sup>3</sup> / año (CONAGUA, 2009).

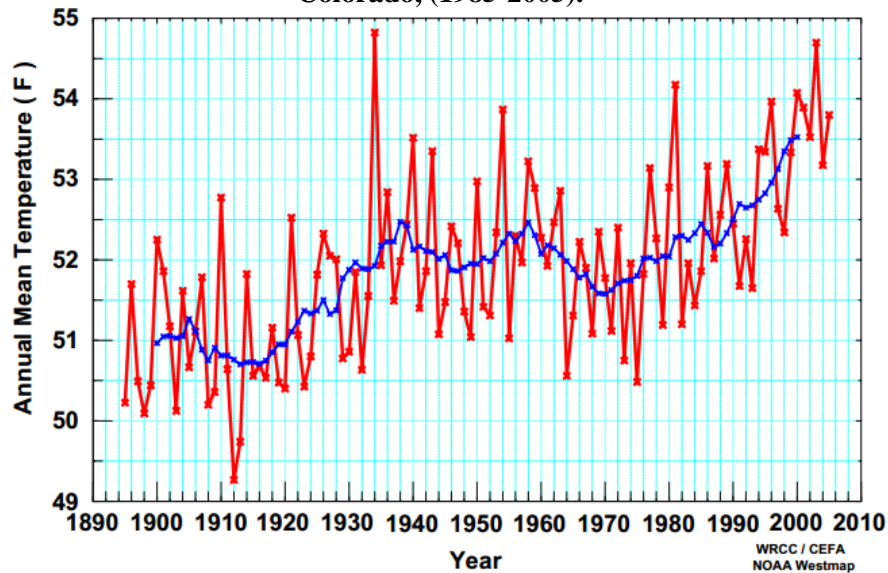
#### **3.3.1. Temperatura.**

Desde finales de 1970 la región ha mostrado una tendencia constante al alza de la temperatura media anual en la cuenca del Río Colorado; además de que el promedio más reciente de 11 años supera los valores anteriores en los más de 100 años de registros como se muestra en la figura No. 3. Las temperaturas en la cuenca hoy en día son por lo menos 1,5 ° F más caliente que durante la sequía de 1950. El aumento de las temperaturas en la región tiene muchas implicaciones hidrológicas importantes, incluyendo los impactos de la sequía (Management Committee, 2007).

Como evidencia del aumento de la temperatura a consecuencia del cambio climático, a lo largo de la cuenca del Río Colorado, se puede analizar la gráfica de la Figura No. 19, aunque con alzas y bajas, la tendencia tiene a aumentar.



**Figura No. 19.- Media anual de la temperatura de aire de la superficie de toda la cuenca del río Colorado, (1985-2005).**



**Fuente: Basin y Management (2007), pp. 82.**

**NOTA: Rojo: valores anuales. Azul: La media de la corrida de 11 años.**

Además se tienen evidencias de que la cuenca del Río Colorado se ha calentado más que cualquier otra región de los Estados Unidos, situación que evidentemente afecta la disponibilidad de agua. Esta tendencia ha continuado hasta el primer semestre del año 2006.

El clima extremo en Mexicali se puede ver en la Tabla No. 9; según el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2014) la temperatura máxima al año se presenta en el mes de julio.

**Tabla No. 9.- Temperatura promedio de Mexicali, B.C.**

ESTADO DE: BAJA CALIFORNIA												PERIODO: 1951-2010											
LOCALIDAD: MEXICALI																							
ESTACION: 00002037 PRESA MORELOS												LATITUD: 32°42'55" N. LONGITUD: 114°43'44" W. ALTURA: 40.0 MSNM.											
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC											
<b>TEMPERATURA MÁXIMA</b>																							
NORMAL	20.3	22.9	26.2	29.7	34.8	39.0	41.4	41.0	38.1	32.5	25.4	20.3											
MÁXIMA MENSUAL	25.1	29.2	31.4	35.5	40.1	43.4	45.7	43.8	42.5	39.7	30.2	25.0											
AÑO DE MÁXIMA	2003	1991	1972	1989	1992	1994	1990	1992	2001	1991	1990	1981											
MÁXIMA DIARIA	31.0	34.0	45.0	48.0	47.0	49.0	50.0	48.0	48.0	45.0	37.0	32.0											
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>																							
NORMAL	13.1	15.0	17.8	20.9	25.6	29.7	33.1	32.9	29.9	23.8	17.4	13.0											

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SMN (2014), s/p.**

[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=161&tmpl=component](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=161&tmpl=component)

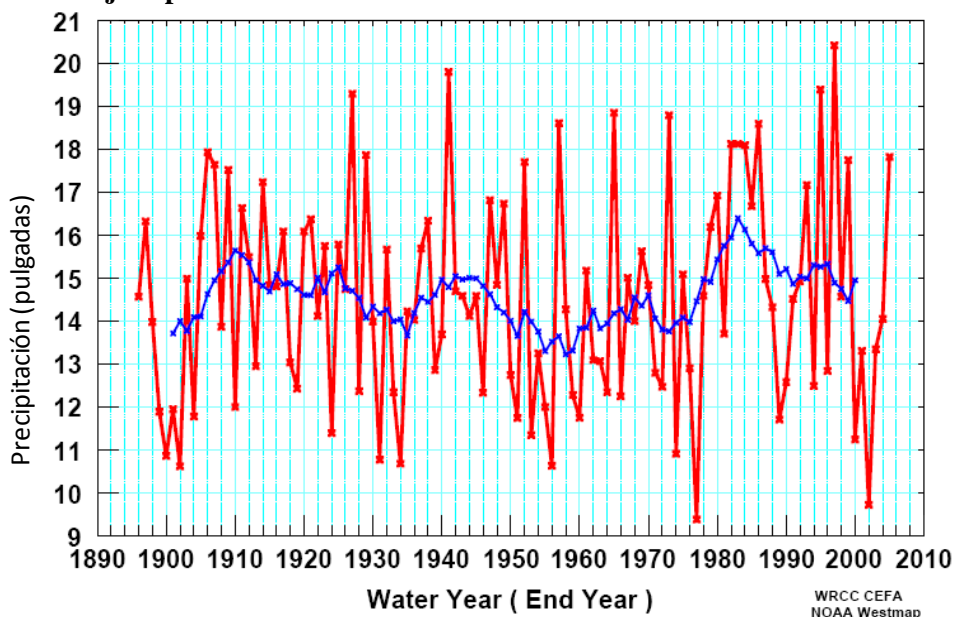
### 3.3.2. Precipitación.

Las proyecciones de los modelos climáticos para la cuenca del Río Colorado sugieren posibles cambios en la precipitación anual en la zona de estudio para los próximos 10 a 40 años, en que se prevé una tendencia a un ligero aumento de poco más del 10%. Por su parte, los cambios en la precipitación en la región del río Colorado serán relativamente leves (Management Committee, 2007).

Los cambios en la estacionalidad de la precipitación o cambios en el tipo de precipitación (lluvia o nieve) pueden ser tan importantes como los cambios en las cantidades anuales de precipitación. Un estudio de Nevada (a la misma latitud que la parte alta del Colorado), con 11 modelos de escenarios climáticos, mostraron una disminución en primavera, a principios del verano y al final del invierno; el aumento de precipitación se presentó en invierno (Benjamín García, 2012).

La gráfica de la Figura No. 20 muestra los niveles de precipitación en la superficie total de la cuenca del Río Colorado.

**Figura No. 20.- Precipitación anual para la cuenca del río Colorado.**  
El color rojo representa los valores anuales. El color azul la media de la corrida.



Fuente: Management Committee (2007) pp. 81.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en un periodo de tiempo definido (CONAGUA, 2009).

### 3.3.3. Hidrología subterránea.

En cuanto a la disponibilidad de agua subterránea en la región, la cifra se obtiene por medio de la ecuación matemática establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, misma que se indica en la expresión de la Tabla No. 10.

**Tabla No. 10.- Cálculo de la disponibilidad de agua subterránea.**

<b>Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica</b>	<b>=</b>	<b>Recarga total media anual</b>	<b>-</b>	<b>Descarga natural comprometida</b>	<b>-</b>	<b>Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA</b>
--	----------	----------------------------------	----------	--------------------------------------	----------	--

**Fuente: Elaboración propia en base s CONAGUA (2009), pp. 12.**

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. De acuerdo con los datos obtenido de (CONAGUA, 2009), la ecuación se sustituye con los datos que se observan en la Tabla No. 11.

**Tabla No. 11.- Sustitución de la ecuación (agua subterránea).**

<b>-374'949,214</b>	<b>=</b>	<b>520'500,000</b>	<b>-</b>	<b>2'500,000</b>	<b>-</b>	<b>892'949,214</b>
---------------------	----------	--------------------	----------	------------------	----------	--------------------

**Fuente: (CONAGUA, 2009).**

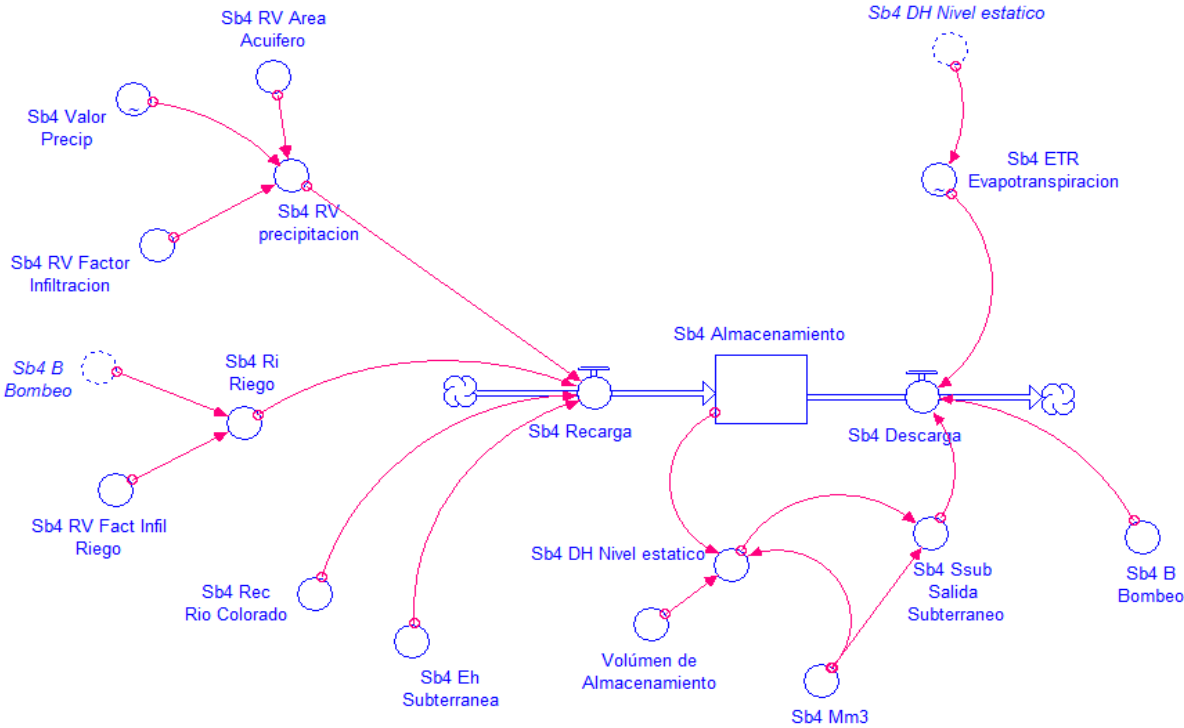
Siendo el resultado un número negativo, la cifra indica que no existe volumen disponible de agua subterránea en el acuífero Valle de Mexicali en el Estado de Baja California.

### 3.3.4. Construcción del subsistema agua subterránea.

Por lo tanto la ecuación para determinar la disponibilidad de agua subterránea queda de la siguiente manera: Entradas (E) - salidas (S) = Cambio de almacenamiento. En donde las entradas se refieren a la recarga total, las salidas a la descarga total y el cambio de almacenamiento se refiere a toda la unidad hidrogeológica.

Para el planteamiento del balance de agua subterránea se consideró el periodo 1987-2004, y una superficie de 1,849 km<sup>2</sup> que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos (CONAGUA, 2009). La Figura No. 21 muestra el esquema de flujos entre las variables que intervienen en el sub-sistema de agua subterránea (Acuífero del Valle de Mexicali).

**Figura No. 21.- Subsistema "Agua subterránea" (Stella).**



**Fuente:** Elaboración propia, obtenido del software Stella el 21 de junio 2014.

**Tabla No. 12.- Acotaciones que corresponden a la Figura No. 21.- "Agua subterránea" (Stella).**

<b>Cuadro de Acotaciones</b>	
fact.infil.	factor infiltración
precip.	precipitación
sb	sub-sistema
rec	recarga
Sh	salida hidrológica
Mm3	millones de metros cúbicos
Ssub	salida subsistema
Eh	extracción horizontal
RV	recarga vertical
DH	descarga horizontal
ETR	evapotranspiración

**Fuente: Elaboración propia el 12 de junio de 2014.**

En el esquema se aprecia que la recarga del acuífero es por infiltraciones de la precipitación, infiltración de agua de riego, infiltraciones del Río Colorado y entradas subterráneas horizontales. Por otra parte, la descarga o extracción se debe a la evapotranspiración, a la extracción por bombeo y fluctuaciones del agua subterránea.

A continuación se presenta la tabla No. 13 con el resumen de datos para cada variable.

**Tabla No. 13.- Resumen del balance de aguas subterráneas en el acuífero Valle de Mexicali.**

<b>Entradas (hm<sup>3</sup>/año)</b>		<b>Salidas (hm<sup>3</sup>/año)</b>	
Infiltración del Río	151.6	Evapotranspiración	11.0
Recarga vertical	4.6	Bombeo	602.0
Recarga inducida	197.3	Salida Subterránea	2.5
Entrada subterránea	167.0	Cambio de almacenamiento	-95.0
<b>Total de entradas</b>	<b>520.5</b>	<b>Total de salidas</b>	<b>520.5</b>

**Fuente: CONAGUA (2009), pp. 17.**

### 3.4. Escenarios de cambio climático regionales.

En la revisión de literatura realizada por Camargo (2012) sobre las proyecciones de cambio climático de modelos regionales, establece que los dos escenarios de emisiones probables en la región son el A2 (emisiones altas) y el B1 (emisiones bajas), y bajo este supuesto se realizaron escenarios de cambio climático para los periodos del 2020 y 2050, obteniendo los posibles cambios en las necesidades hídricas de la zona de estudio.

El trabajo de Christensen, Wood, Voisin, Lettenmaier, y Palmer (2004), complementa el supuesto anterior y complementa diciendo que los efectos potenciales del cambio climático en la hidrología y los recursos hídricos de la cuenca del río Colorado, y mediante la simulación hidrológica alimentada con las variables de escenarios climáticos con reducción de escala, se obtuvieron cambios en la temperatura promedio, los cuales se presentan en la Tabla No. 14.

**Tabla No. 14.- Cambios en la temperatura y precipitación.**

<b>Periodo</b>	<b>Aumento de temperatura en °C</b>	<b>Decremento en la precipitación</b>
2010-2039	1.0	-3 %
2040-2069	1.7	-3 %
2070-2099	2.4	-6 %

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Chistensen, Wood, Voisin, Lettenmaier, y Palmer (2004), pp.347.**

Estos cambios de temperatura y precipitación estiman una reducción de agua equivalente (en nieve) a 24, 29 y 30% para cada periodo respectivamente. Los resultados de este estudio en la cuenca del río Colorado muestran que, a la larga, el cambio climático llevaría a una situación en la que la demanda alcanzaría paulatinamente –e incluso llegaría a superar– al suministro de agua. En concreto, a causa del cambio climático se disminuiría el volumen de agua en la cuenca del río Colorado, causando innumerables problemas de toda índole.

Esta situación plantea cambios en la entrega de volúmenes de agua pactada entre México y Estados Unidos, (1,850 millones de metros cúbicos de agua anuales), de acuerdo a los impactos del cambio climático antes mencionados. De acuerdo con Christensen y Lettenmaier (2007), Si bien la precipitación tiende a aumentar en la región, también presenta varios periodos de altas y bajas, además de que la infiltración se ve disminuida por el aumento de la

evapotranspiración, . Estos resultados coinciden con el estudio, en donde proyecta la posible reducción de agua, misma que se indica en la Tabla No. 17.

**Tabla No. 15.- Proyecciones de disminución de agua entregada a México por parte de los Estados Unidos, a consecuencia del cambio climático.**

<i>Periodo (años)</i>	<i>Escenario B2</i>	<i>Escenario A2</i>
<b>2010-2039</b>	<b>1,780 hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>1,780 hm<sup>3</sup>/año</b>
<b>2040-2069</b>	<b>1,720 hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>1,630 hm<sup>3</sup>/año</b>
<b>2070-2099</b>	<b>1,750 hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>1,620 hm<sup>3</sup>/año</b>

**Fuente: Elaboración propia con información tomada de Christensen y Lettenmaier (2007).**

## **CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.**

De acuerdo con los datos obtenidos de la simulación, aunado al sostenido crecimiento de la población y al cambio climático a nivel mundial, se puede apreciar que la cantidad de agua declina permanentemente. De hecho, de seguir con estas condiciones, el volumen de agua para el año 2050 será muy bajo y de continuarse aplicando el modelo, la declinación seguirá hasta llegar a los niveles negativos (Ford, 1999).

Así mismo se vislumbra el umbral de disponibilidad de agua para la zona Metropolitana de Mexicali, B.C. que en pleno proceso de crecimiento y desarrollo se desenvuelve en base a las previsiones de agua a largo plazo y soportando a la vez las consecuencias del cambio climático en su área de asentamiento.

### **4.1. Escenario de tendencia actual.**

Tomando como base las variables antes estipuladas, se genera en Stella un modelo iniciando con disponibilidad de los datos de demanda y consumo para el periodo 2010 al 2030 con resultados obtenidos de la modelación dinámica de sistemas que se muestran en las siguientes gráficas según el sub-modelo que se indique y finalmente se presentan los resultados de la interconexión de los dichos sub-modelos.

Uno de los principales factores que afecta el consumo de agua es el tamaño de la población. Por lo tanto se puede decir que la relación entre estas variables es directamente proporcional, (a mayor población, mayor demanda de agua).



La dotación de agua por habitante al día para la ciudad de Mexicali, B.C. ha ido disminuyendo paulatinamente, tal como se puede observar en la siguiente tabla según los autores señalados:

**Tabla No. 16.- Dotación de agua por habitante en Mexicali, B.C.**

<b>AÑO</b>	<b>DOTACIÓN</b>	<b>FUENTE BIBLIOGRÁFICA</b>
2003	335 lts / hab / día	Ochoa, L., 2003. CESPM
2008	300 lts / hab / día	Programa Estatal Hídrico, 2008 - 2013, obtenido del sitio web <a href="http://www.cea.gob.mx/Documents/PEH20082013.pdf">http://www.cea.gob.mx/Documents/PEH20082013.pdf</a>

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las fuentes consultadas.**

Por el contrario, el consumo de agua por persona al día en la ciudad de Mexicali, B.C. tiende a ir en aumento según la siguiente tabla:

**Tabla No. 17.- Consumo de agua por habitante en Mexicali, B.C.**

2003	299 lts / hab / día	Ochoa, L., 2003. CESPM
2007	340 lts / hab / día	Periódico La Crónica; Obtenido del sitio web <a href="http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=538420">http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=538420</a> , el 23 de Octubre de 2007.
2014	275 a 325 lts / hab / día	El agua en Baja California; Obtenido del sitio web <a href="http://www.congresobc.gob.mx/IELWeb/documentos/AguaenBajaCalifornia.pdf">http://www.congresobc.gob.mx/IELWeb/documentos/AguaenBajaCalifornia.pdf</a> el día 07 de Enero de 2014.

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las fuentes consultadas.**

Sin embargo, la disponibilidad de agua para Mexicali, B.C. no será suficiente a corto plazo, ya que los pronósticos de crecimiento de población, hacen pensar que a corto plazo la dotación de agua por habitante tendrá que ir disminuyendo para que el servicio llegue a toda la población del Estado, en tanto no se tengan nuevas alternativas de fuentes de abastecimiento (CEA, 2008).

Por lo tanto; considerando que la última cantidad de dotación de agua para Mexicali, B.C. registrada fue de 300 litros por persona al día, en el año 2004, y que ha ido y seguirá disminuyendo; se optó por tomar una cantidad de 275 litros por persona al día para el presente trabajo. Tomando en cuenta los factores que determinan la variación de la demanda de consumo de agua; se asignan las dotaciones en base al número de habitantes. Para el caso de este modelo se asignan 275 litros por persona al día para el periodo completo (2010-2030).

Sin tomar medidas precautorias o de prevención y ahorro de agua, la demanda de agua irá directamente en aumento, tanto en la zona rural como en la urbana; esto debido al aumento de la población, el desperdicio, las fugas, entre otros factores, esto sin considerar el factor de recuperación.

**Figura No. 22.- Demanda de agua según la tendencia.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

La Figura No. 29 inicia en el año 2014 con una demanda total de 16.07 Mm<sup>3</sup>, y para el año 2030 la demanda es de casi 75 millones de metros cúbicos. La cantidad final es 5 veces más que la inicial, lo que muestra claramente el elevado aumento en la demanda de agua.

La disponibilidad de agua consiste en los 1,800 millones de metros cúbicos anuales que pasan por la Presa Morelos y se dirigen a la Represa Benassini para distribuirse entre las 3 plantas potabilizadoras de agua y posteriormente encaminarse hasta el usuario final.

**Figura No. 23.- Fuentes y potabilizadoras según la tendencia.**

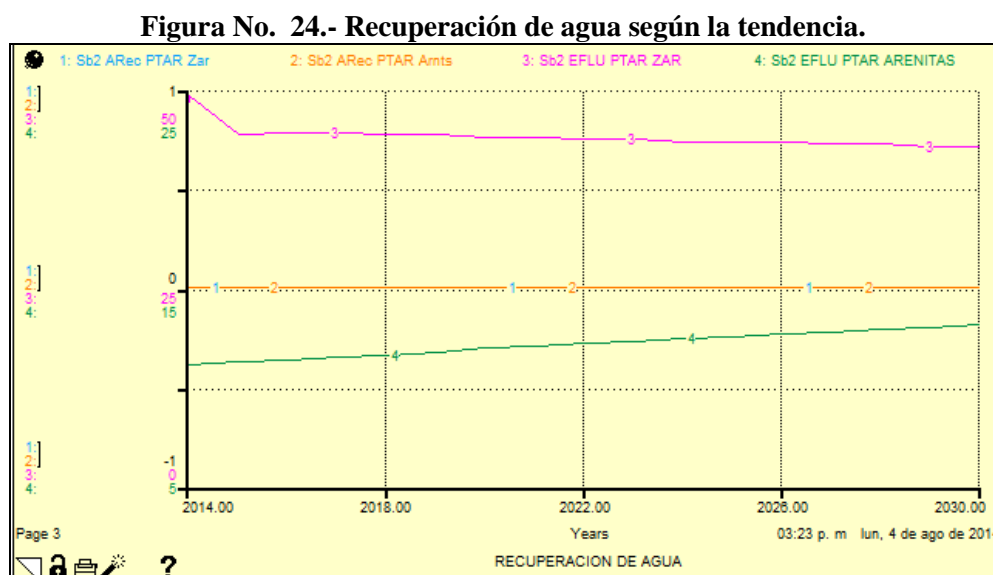


**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

En la Figura No. 23 se puede apreciar que la Represa Benassini se mantiene constante dado que la cantidad de agua que pasa se distribuye en su totalidad a las plantas potabilizadoras 1, 2 y 3 o es mínima la cantidad de agua que contiene debido a que es sólo un control para el paso y distribución del agua. La planta potabilizadora No. 1 (Col. Pro-Hogar), tiene una ligera tendencia a la baja, dado que es la zona de la ciudad a la que abastece y actualmente la población se dedica al comercio en su mayoría, por lo que no existe nueva demanda en esa zona de la ciudad. Por otra parte, las plantas potabilizadoras No. 2 (Col. Calles) y No. 3 (Col. Xochimilco), tienden a incrementar su demanda debido al crecimiento de la población hacia esas áreas.

Las aguas residuales son las que resultan después de haber utilizado el agua potable, son generadas por todos los sectores sociales. Estas aguas residuales antes de ser devueltas a la naturaleza deben ser depuradas en las Plantas de Tratamiento. Este proceso consiste en una serie de pasos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el caudal.

Los resultados del modelo de simulación en cuanto a recuperación de agua por medio de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR`s), bajo las condiciones de tendencia, se muestra en la siguiente gráfica.



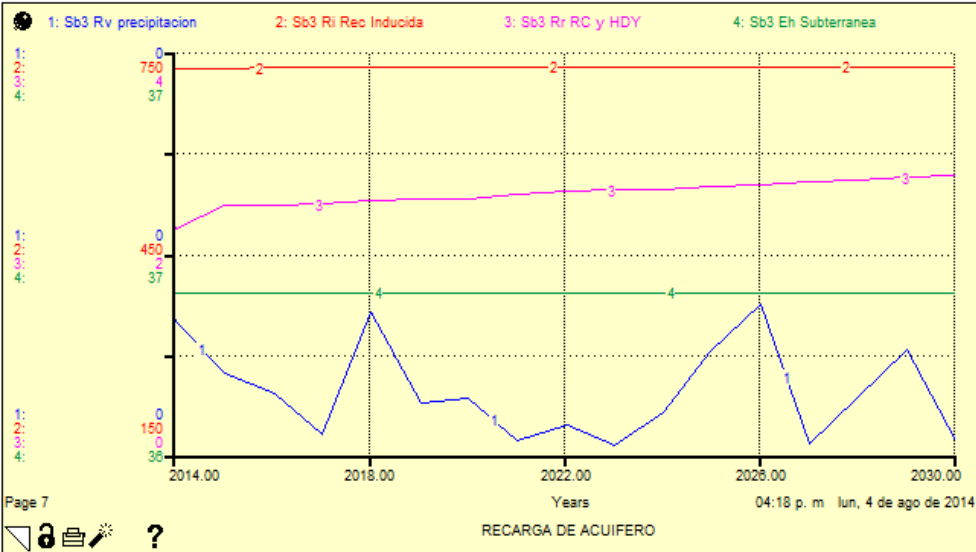
**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

En los resultados que se muestran en la Figura No. 24, la planta de tratamiento de aguas residuales “Zaragoza”, tiende a disminuir su producción de agua, debido al crecimiento de la población que limita su capacidad de servicio. Por el contrario, la planta de tratamiento de aguas residuales “Las Arenitas”, incrementa su servicio y recuperación de agua. Con todo, poco a poco, esta PTAR va aumentando constantemente su producción.

El agua subterránea del sistema hídrico de la zona es la base del acuífero Valle de Mexicali. En cuanto a la recarga del mismo, la tendencia indica los resultados que se muestran en la Figura No. 25. La variable “precipitación” presenta una dinámica en su comportamiento

debido a los periodos de lluvia y estiaje. La recarga inducida por medio del riego en el área agrícola y el efluente subterráneo se mantiene constante ante las mismas condiciones climatológicas. La recarga por medio de los ríos Hardy y Colorado muestran una leve tendencia positiva debido a las infiltraciones del Río Gila Bend ubicado en Arizona.

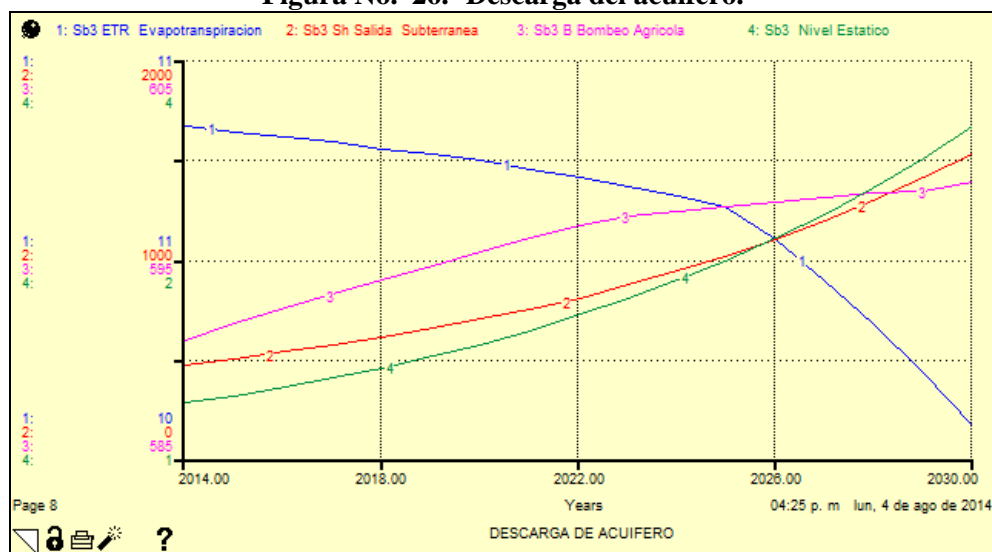
**Figura No. 25.- Recarga del acuífero.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

El principal método de extracción de agua del acuífero es por bombeo, aunque también puede ser por medio de pozos como en el Valle de Mexicali y por medios naturales como la evapotranspiración. Los datos arrojados por el modelo de simulación (según la Figura No. 26), indican que en el año 2014 la descarga era de 905.10 millones de metros cúbicos anuales; y para el año 2030 la descarga podría ser de 2,015.47 millones de metros cúbicos anuales, lo que es aumentar la descarga 2.22 veces. Esta descarga se puede analizar en la siguiente gráfica.

**Figura No. 26.- Descarga del acuífero.**

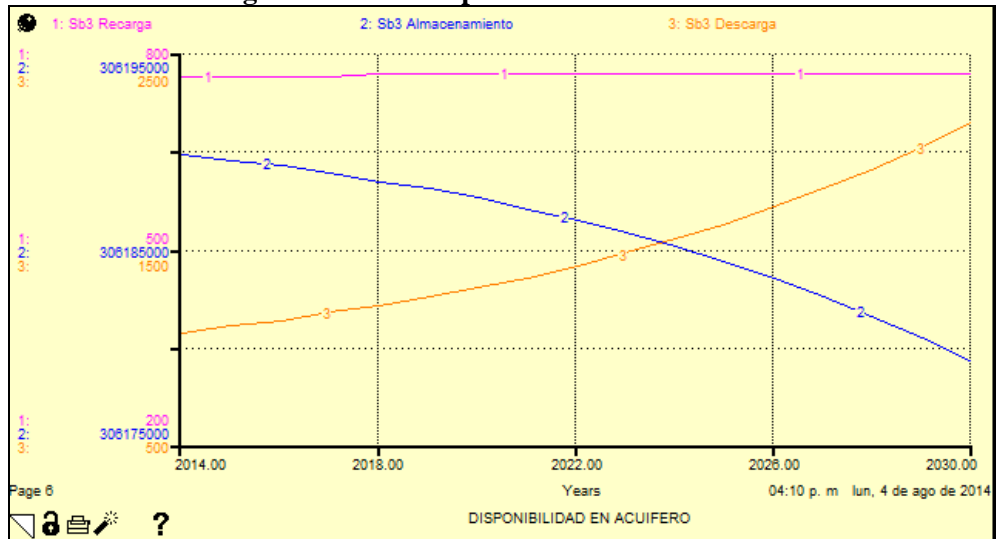


**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

La salida subterránea y el nivel estático se mantienen aumentando a la par; y el bombeo agrícola también aumenta, aunque con otra curvatura, todo esto debido a la necesidad de extracción para cubrir las nuevas necesidades. La disponibilidad del acuífero del Valle de Mexicali, se obtiene de anotar la recarga y restarle la extracción. Los datos del modelo de tendencia para el año 2010 son  $617.87 - 905.10 = -287.23$  de este valor negativo se entiende que ya no existe más volumen de agua para concesionar, (existe una sobreexplotación del acuífero, lo cual representa un déficit en el abastecimiento). Para el año 2030 los datos son  $767.79 - 2,015.47 = -1,247.68$  también un número negativo que indica la nula disponibilidad (de igual manera, existe una sobreexplotación del acuífero).

En suma, el resultado se puede observar en la Figura No. 27, donde la tendencia del agua subterránea resulta de la siguiente manera: la recarga se mantiene constante debido a que se consideran las mismas condiciones de clima; la descarga va en aumento, dado que si se terminan las provisiones de agua superficial, será necesario extraer agua del subsuelo por medio de bombeo; y por último, el almacenamiento de agua en el acuífero va decreciendo debido a la constante extracción.

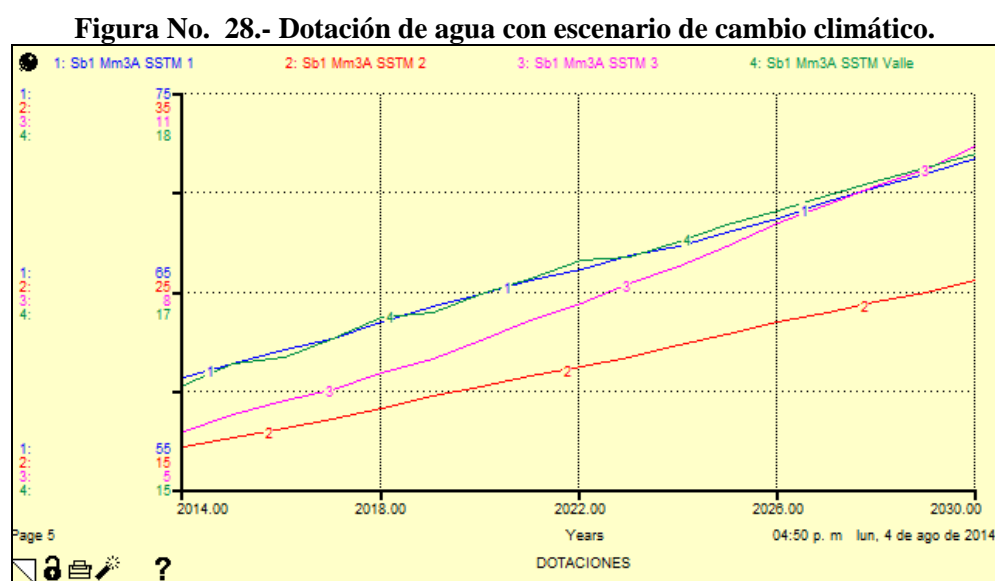
**Figura No. 27.- Disponibilidad en el acuífero.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

## 4.2. Escenario de cambio climático.

Considerando la misma dotación de 275 litros de agua por persona al día, pero incluyendo el factor “cambio climático”, la gráfica muestra que la dotación de agua tanto para la zona rural como para el área urbana iría en aumento. En el 2014 entre los 3 subsistemas se dotaban 16.07 Mm<sup>3</sup> y para el 2030 la dotación según el modelo de simulación será de 104.12 Mm<sup>3</sup> anuales; lo que representa un aumento de 6.47 veces la cantidad inicial, situación que se representa en la Figura No. 28. En la gráfica las líneas de tendencia se inclinan hacia arriba, lo que significa un gran aumento en la dotación de agua.

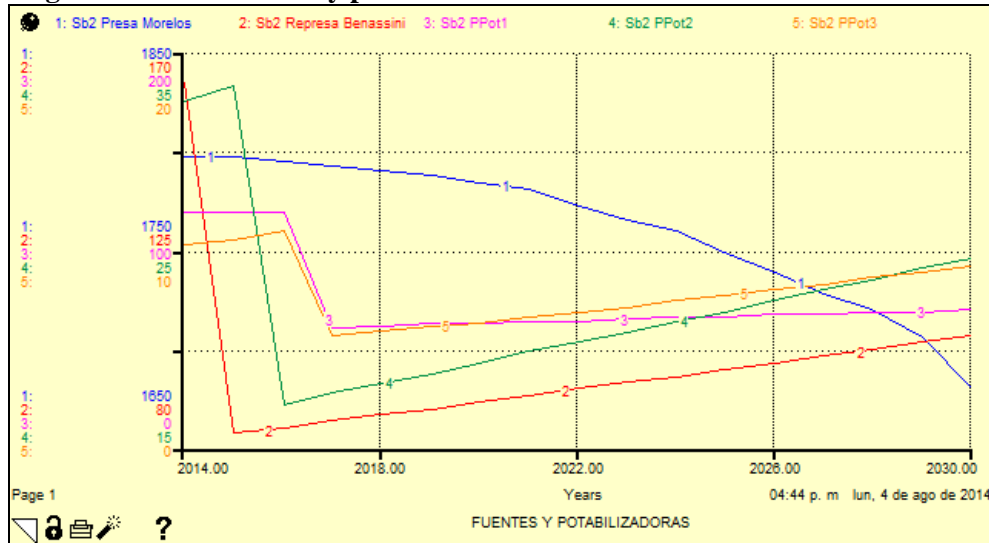


**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

Aplicando el escenario de cambio climático seleccionado para este trabajo, las fuentes de suministro de agua y las plantas potabilizadoras al inicio del periodo, se comportan de manera inestable, pero al lograr un ritmo finalmente se estabilizan como se muestra en la Figura No. 29.



**Figura No. 29.- Fuentes y potabilizadoras con escenario de cambio climático.**



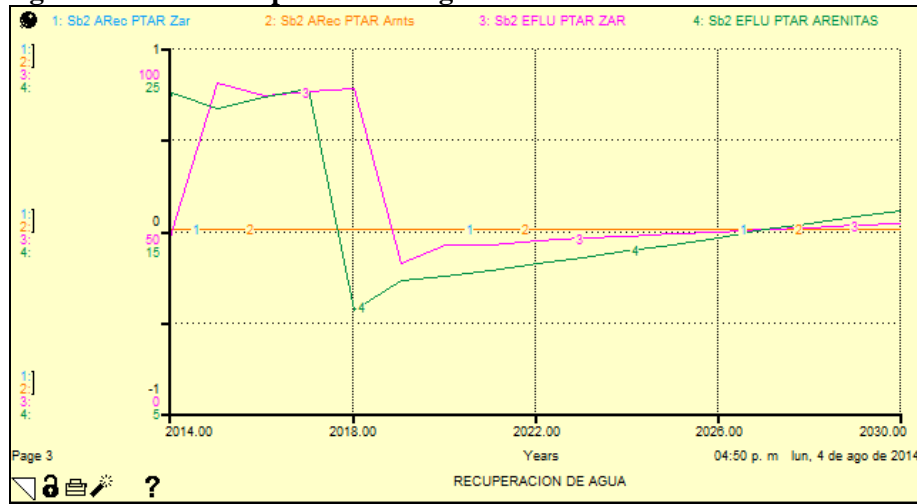
**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

La represa Benassini y el subsistema de la planta potabilizadora No. 2, caen drásticamente en el año 2015 aprox. y posteriormente aumentan su disponibilidad y producción. Las plantas potabilizadoras No. 1 y No. 3, comienzan a trabajar establemente a la alza a partir del año 2022 aproximadamente.

La presa Morelos presenta una curva decreciente debido a que el agua recibida por parte de los Estados Unidos ya no sería suficiente para la demanda. Esta reducción en la cuota anual de agua asignada a México se debe a la sequía que se está presentando en la cuenca del Río Colorado y que afecta a todos los usuarios que se abastecen de él, siendo siete estados de Estados Unidos, Baja California y la parte de San Luis Río Colorado, Sonora (A. García, 2015).

El resultado de la recuperación de agua bajo los efectos del cambio climático indica que las plantas de tratamiento “Las Arenitas” y “Zaragoza”, se mantendrán de manera constante. El efluente de ambas plantas muestra un cambio que primero va en descenso y posteriormente en aumento, hasta llegar a funcionar a su máxima capacidad, según indican los resultados de la Figura No. 30.

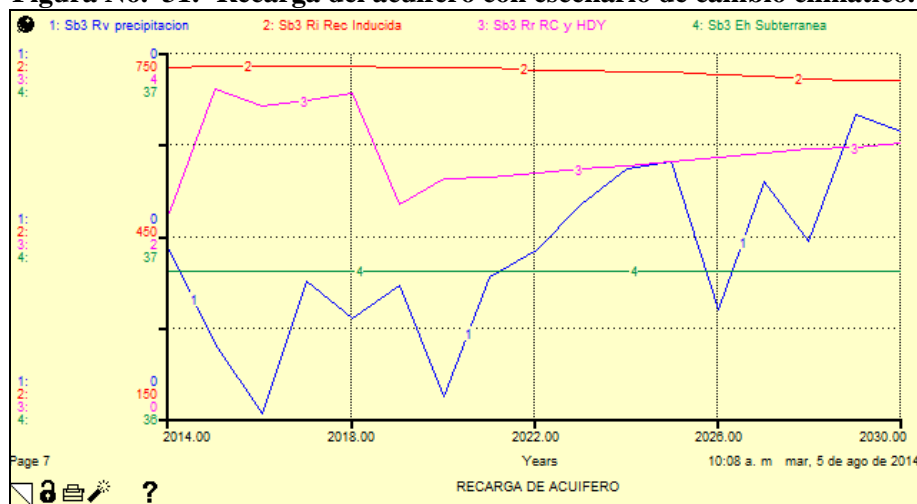
**Figura No. 30.- Recuperación de agua con escenario de cambio climático.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

En cuanto al subsistema de recarga del acuífero, el cambio climático presenta alteraciones visibles en la variable “precipitación”, con algunos altibajos pero la tendencia predominante marca un aumento de lluvias. La recarga inducida por medio de riego se mantiene de manera semejante al “correr” el sistema sin la influencia del cambio climático, aunque en este caso, tiende levemente a disminuir a causa del incremento en la temperatura. El Río Colorado y el Río Hardy, con algunos picos en su gráfica (se muestra en la Figura No. 31). En general tienden levemente al incremento. Por último el efluente subterráneo se mantiene de manera recta.

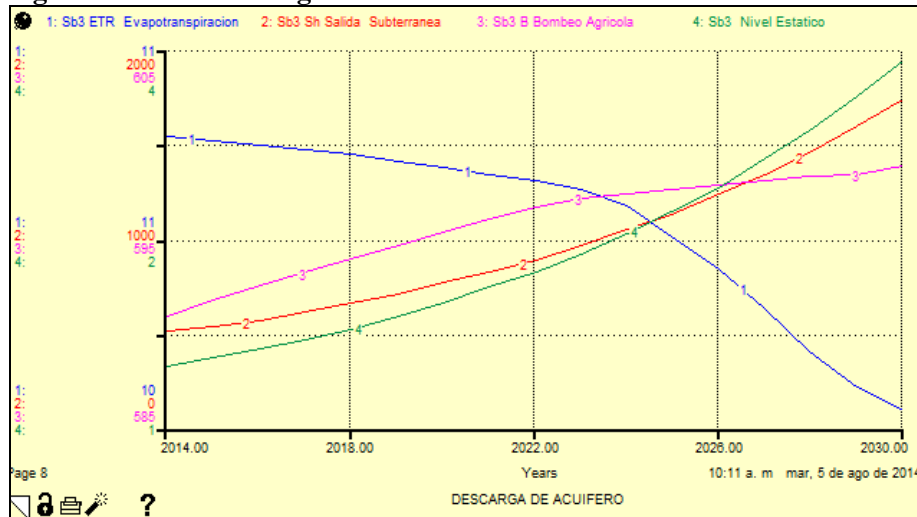
**Figura No. 31.- Recarga del acuífero con escenario de cambio climático.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

La descarga del acuífero bajo las consecuencias del cambio climático presenta resultados muy semejantes a la tendencia bajo las condiciones actuales; los resultados para cada variable se presentan en la Figura No. 32.

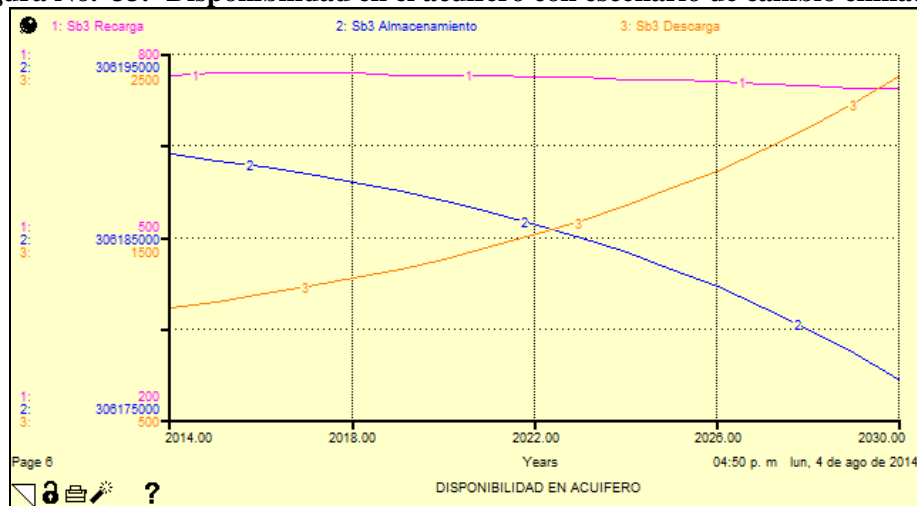
**Figura No. 32.- Descarga del acuífero con escenario de cambio climático.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

Como resultado, la disponibilidad en el acuífero del Valle de Mexicali, muestra que la recarga se mantendrá fluctuando levemente, el almacenamiento disminuirá y la descarga aumentará. Dichos movimientos se pueden apreciar en la Figura No. 33.

**Figura No. 33.- Disponibilidad en el acuífero con escenario de cambio climático.**

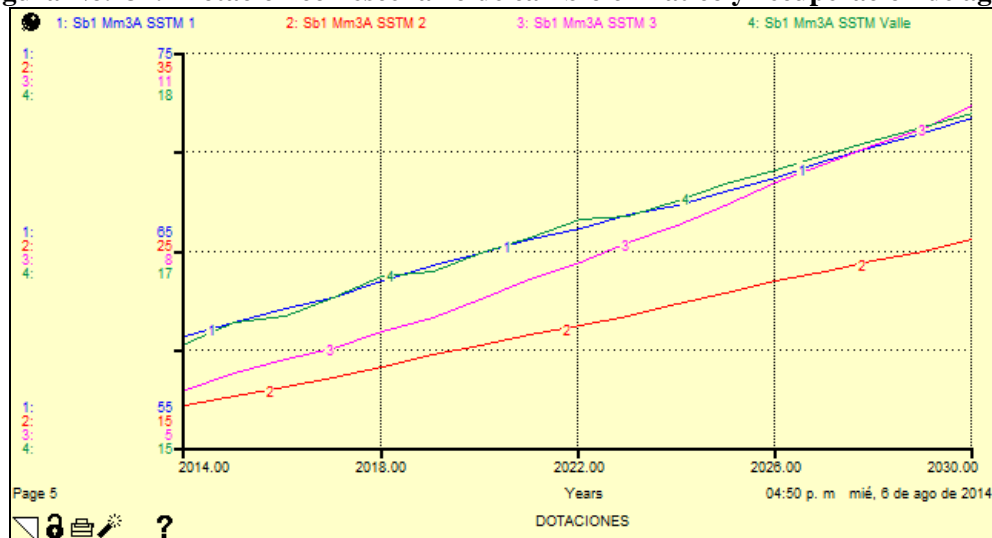


**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

### 4.3. Escenario de cambio climático y Manejo integrado de fuentes.

La dotación de agua con ambos escenarios (cambio climático y recuperación), muestra que en el año 2014 era de 12.76 millones de metros cúbicos anuales, y para finales del periodo (2030) la demanda de agua, según el modelo, estaría alrededor de los 104.05 millones de metros cúbicos anuales, (8.15 veces más), lo que se ve en la Figura No. 34.

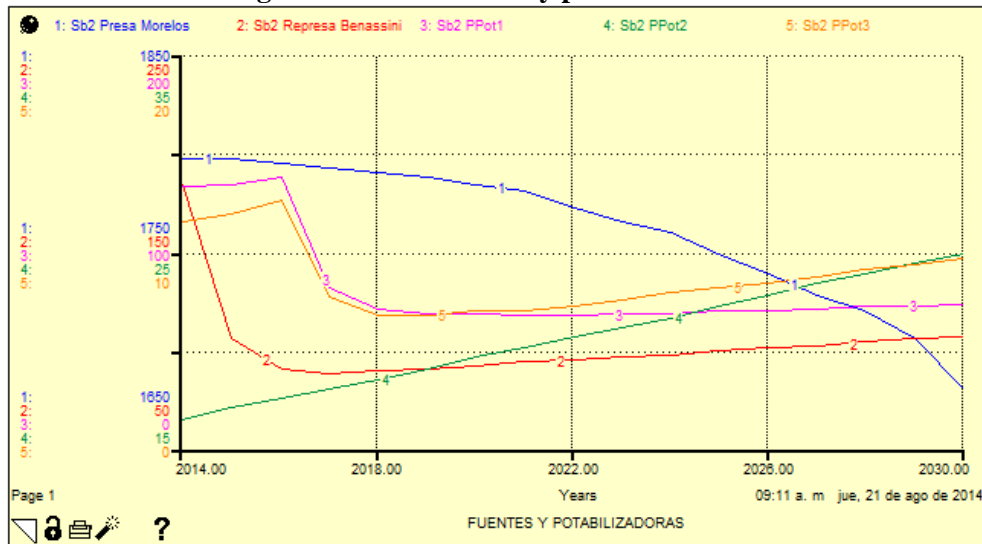
**Figura No. 34.- Dotación con escenario de cambio climático y recuperación de agua.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

Según la dinámica superficial en condiciones de cambio climático y con recuperación de agua por medio de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el modelo en *Stella* indica que en el año 2010 se recibían por parte de los Estados Unidos, 1,800 millones de metros cúbicos anuales de agua, pero para el año 2030 solo recibiremos 1,679 millones de metros cúbicos. Estos resultados se pueden comparar y coinciden con los del estudio de (Christensen y Lettenmaier, 2007). Mismo que se puede apreciar en la Figura No. 35.

**Figura No. 35.- Fuentes y potabilizadoras.**

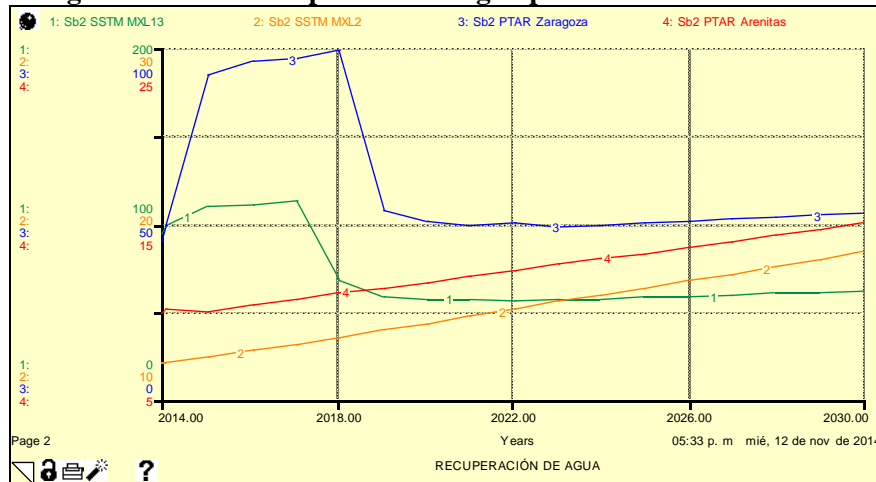


**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

La cantidad de agua que entra a México por la “Presa Morelos” disminuye drásticamente a partir del año 2023 aproximadamente. La Represa Benassini tiene su pico más alto en el año 2014 con 184.42 millones de metros cúbicos, y su menor efluente es en el año 2017 con 87.39 millones de metros cúbicos anuales.

Las plantas potabilizadoras No. 1 y No. 3 se manejan de manera muy similar, estableciendo su comportamiento a partir del año 2021 aproximadamente. El comportamiento de las plantas potabilizadoras No. 2 (Calles) y No. 4 (Arenitas), se puede observar en la Figura No. 36; mantienen una recta a la alza en cuanto a su producción para satisfacer las crecientes necesidades, lo que indica que en un momento dado trabajarán a su máxima capacidad y posteriormente serán insuficientes, por lo que se requiere contemplar el crecimiento de estas plantas o la creación de nuevas PTAR’s.

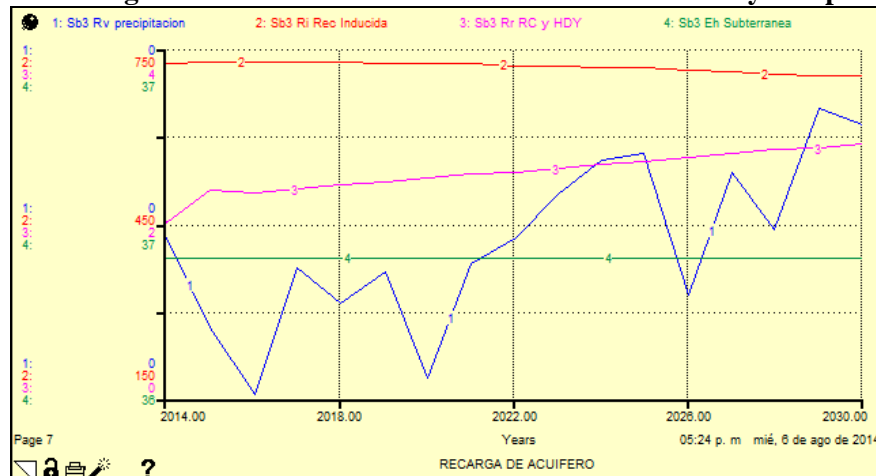
**Figura No. 36.- Recuperación de agua por medio de las PTAR's.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella el 21 de junio 2014.**

La recarga de las aguas subterráneas para la zona metropolitana de Mexicali, como se ve en la gráfica, muestra que la precipitación aunque tiene altas y bajas en su trayecto, finalmente tiende a aumentar. El escenario de cambio climático aumentaría la cantidad de agua subterránea debido al aumento de la infiltración a causa de la precipitación. Por el contrario, la recarga inducida por medio del riego, presenta una leve tendencia hacia la disminución. La recarga de agua que aportan el Rio Hardy y el Río Colorado por medio de las infiltraciones naturales, tiende a incrementarse con el paso del tiempo. El efluente subterráneo se presenta constante por medio de una línea recta en la Figura No. 37.

**Figura No. 37.- Recarga del acuífero con escenario de cambio climático y recuperación de agua.**

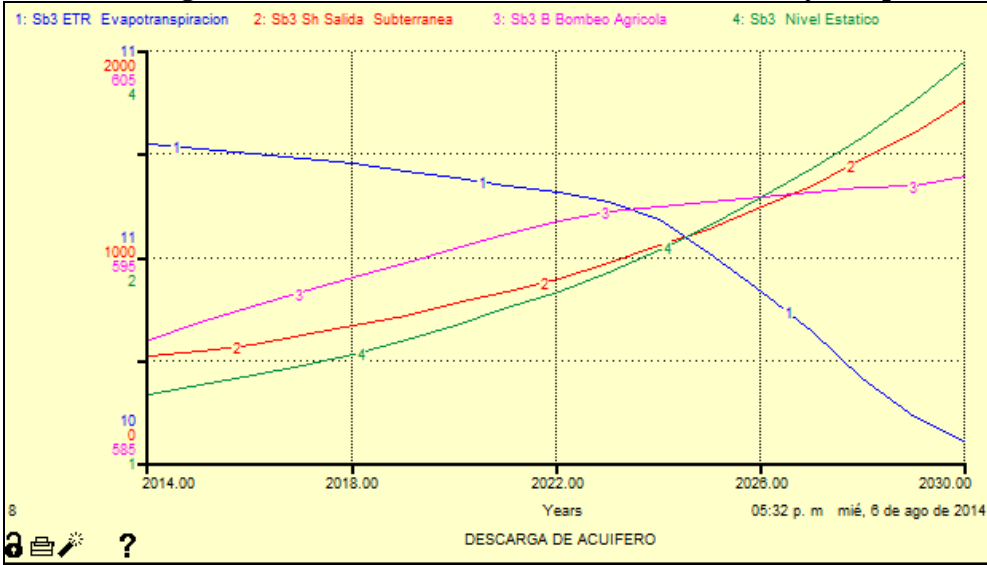


**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

De manera general, los datos anteriores se resumen en un aumento en la recarga del acuífero, al principio del 2010 con una recarga de 617.87 millones de metros cúbicos anuales y para el año 2030 la recarga se estima en 744.44 millones de metros cúbicos anuales de agua subterránea.

La descarga del acuífero del Valle de Mexicali, como se puede observar en la gráfica, resulta muy semejante a las anteriores. Es evidente que aumenta significativamente la extracción de agua por motivos del crecimiento y desarrollo de la zona de estudio. Los datos se pueden ver en la Figura No. 38, donde en el 2014 se extraían alrededor de 500 millones de metros cúbicos (línea roja) y para el 2030 la cifra será de casi 2,000 millones de metros cúbicos anuales de agua.

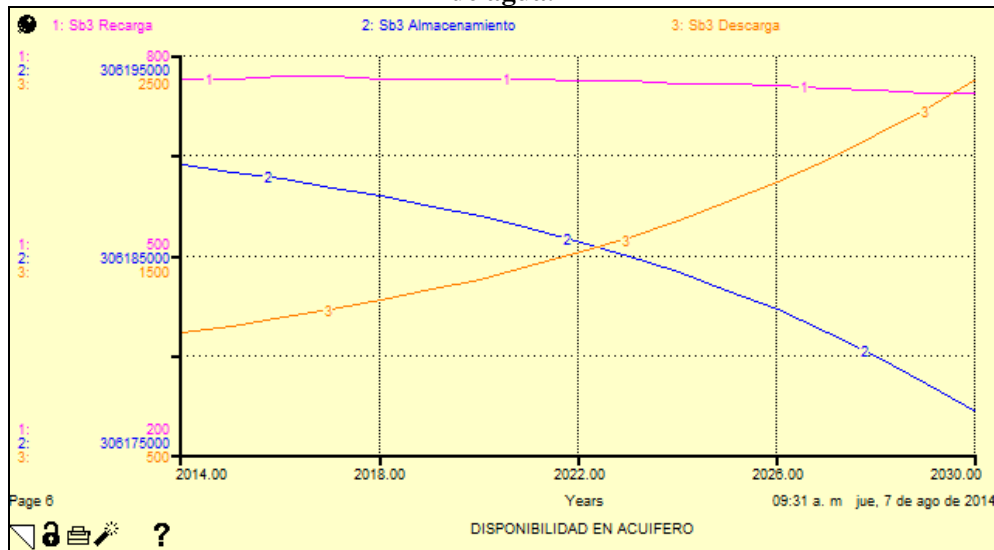
**Figura No. 38.- Descarga del acuífero con escenario de cambio climático y recuperación de agua.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**

La descarga o extracción del acuífero muestra un significativo aumento que se puede ver en la Figura No. 39. Bajo estas condiciones, según el modelo en el año 2014 se extraían 1,200 millones de metros cúbicos de agua y para el 2030 la extracción estaría alrededor de 2,230.01 millones de metros cúbicos anuales; lo que representa más del doble, (2.27 veces la cantidad inicial).

**Figura No. 39.- Disponibilidad en el acuífero con escenario de cambio climático y recuperación de agua.**



**Fuente: Elaboración propia, obtenido del software Stella.**



## **CONCLUSIONES.**

Este documento presenta las diferentes dimensiones que se ven afectadas en relación con la problemática del agua en Mexicali, B. C., que son semejantes a las de cualquier ciudad en expansión, pero son intensificadas por la condición de clima árido de su territorio. El trabajo expone un modelo de simulación que funciona como herramienta para prever la disponibilidad de agua a través del tiempo, tomando en cuenta las variables más relevantes según la tendencia actual de manejo, condiciones que impone el cambio climático y las facilidades de aplicación de técnicas de recuperación de agua; que pueden orientar medidas precautorias y de ajuste de acciones para el mejoramiento de la eficiencia en el uso y conservación de la calidad del vital recurso para todos: el agua.

A manera de conclusión y con base en la hipótesis que marcó la pauta de la presente investigación, se comprueba por medio de la modelación dinámica de sistemas (Stella), que las fuentes de agua con que cuenta la zona metropolitana de Mexicali, B.C. aún a la fecha (2015) son suficientes, situación que no perdurará por mucho tiempo; ya que manteniendo los actuales patrones de consumo de agua, considerando una oferta inelástica y sumando el cambio climático a mediano plazo, el recurso agua podría llegar a su límite de disponibilidad, lo que conduciría a la escasez que limitaría drásticamente el desarrollo de la zona Metropolitana de Mexicali. Los resultados de la modelación dinámica indican que el sistema hídrico de la zona Metropolitana de Mexicali, B.C. comenzaría a deteriorarse a partir del año 2015 y finalmente colapsaría de forma tendencial alrededor del año 2030.

Bastante se conoce sobre el comportamiento de los usuarios del agua, a nivel urbano, industrial y agrícola, acerca de la manipulación de las varias políticas del agua y niveles de administración (Olmstead, 2013), de modo que ésta información se convierte en una valiosa aportación para dar inicio al manejo integrado de fuentes de agua.

Considerando que a partir del año 2015 se verá reducida la cuota anual de agua del río Colorado que México recibirá de los Estados Unidos (A. García, 2015), el aumento de la población continuará con las exigencias propias de una sociedad en desarrollo, y los indicios del cambio climático ya se pueden vivir actualmente; por lo que resulta indispensable comenzar ahora con las medidas necesarias de ahorro y reducción en el consumo del vital líquido, además de las acciones necesarias para lograr una correcta planeación del uso racional del agua y así contribuir al desarrollo sustentable.

Derivado del modelo de simulación, se concluye que la consideración de manera integral de todas las variables (diminución en la dotación de agua, aumento de la población y cambio climático) es una de las principales alternativas para tratar de solucionar la presente situación en torno al agua; y el uso de herramientas de simulación de escenarios (tales como Stella), pudiera ser la opción más viable para tener una idea de lo que podría suceder y así tomar las medidas necesarias antes de que sea demasiado tarde.

## **RECOMENDACIONES.**

Algunas recomendaciones pudieran establecerse para los organismos operadores del agua y para las autoridades en materia de planeación urbana regional.

- Implementar una red climatológica de monitoreo que cubra la zona metropolitana de Mexicali, para comprender y dar seguimiento a la variabilidad climática de la región para establecer a tiempo los ajustes en el manejo de las fuentes de agua disponible y reducir las situaciones de escasez.
- Evaluar en base a los escenarios de cambio climático, los posibles impactos futuros en otros sectores, como la salud, la industria, y los efectos sobre la población pobre, entre otros.
- Crear mercados de agua recuperada para usos urbanos productivos, y el riego de áreas verdes públicas y particulares.
- Realizar estudios para reducir la dotación diaria de agua residencial de forma estacional y en situación de escasez.
- Crear un plan para hacer más eficientes los sistemas de riego en el Valle de Mexicali mediante su tecnificación; esto se debe hacer trabajando conjuntamente con el gobierno municipal y estatal.

Algunas acciones que nosotros –como parte de la sociedad, y como los más interesados y afectados– podemos realizar para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático son las siguientes:

- Primeramente reconocer que nuestro actual estilo de vida contribuye directamente al calentamiento global y que las decisiones cotidianas influyen en éste, por lo que son sumamente importantes.
- Reducir la huella de carbono, lo que se traducirá en una reducción en el consumo de energía eléctrica. La Secretaría de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA) sugiere reciclar o reutilizar materiales y usar focos ahorradores de energía.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Alimentación, F. O. d. l. N. U. p. l. A. y. l. (2013). *Afrontar la escasez de agua; Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. (38). Roma, Italia: FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Álvarez, A. (2010). *Las interacciones agricultura - agua y la modificación de los ambientes rurales: el caso del valle de Mexicali*. Paper presented at the Gestión, políticas y culturas del agua, San Luis Potosí, México.
- Allain, M., y El-Jabi, N. (2002). *Hydrological approach to instream flow evaluation: A sensitivity analysis*. Paper presented at the Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering (CSCE), Montréal, Québec, Canada.
- Allen, A., y You, N. (2002). *Sustainable Urbanization, Bridging the Green and Brown Agendas*. London: Development Planning Unit-University Collge London.
- Arredondo, J. (2009). *Control de calidad del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006 (segunda etapa)*. (Contrato No. INE/ADA -034/2009 ). México: Responsable Técnico: Fís. Gloria Victoria Salas Cisneros
- Arreguín, F. (1991). *Uso eficiente del agua en ciudades e industrias*. Paper presented at the Memoria del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua, México, D.F. México.
- Baede, A., Ahlonsou, E., Ding, Y., et al. (s/f). The Climate System: an Overview (pp. 85 - 98).
- Bernauer, T. (2002). Explaining Success and Failure in International River Management. *Aquatic Sciences*, 64(1), 1 - 19.
- Bird, L., y Molinelli, J. (2001). La Biodiversidad (pp. 9). <http://www.slideshare.net/RAMOMBE/leccionbiodiversidad>.
- Buenfil, J. e. (2009). Escenarios de cambio climático y tendencias en la zona del Golfo de México. In S. d. M. A. y. R. Naturales & I. N. d. Ecología (Eds.), *Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en los humedales costeros del Golfo de México*. In I.-. SEMARNAT (Series Ed.) (Primera Edición ed., Vol. II, pp. 569 -656). México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- Calderón, F. (2008, 2012). Diversidad Ambiental Retrieved 05 de Diciembre de 2012, 2012
- Camargo, A. (2012). *Escenarios de cambio climático y su aplicación en el cultivo del trigo en el Valle de Mexicali*, B.C. Maestro en Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.
- Cap-Net, Partnership, G. W., y PNUD. (2005). Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico; Manual de Capacitación y Guía Operacional. *Cap-Net. Planes GIRH, Módulo de Capacitación* 107. Retrieved from Cap-Net [http://www.cap-net.org/TMUploadedFiles/FileFor67/IWRM\\_Plan.doc](http://www.cap-net.org/TMUploadedFiles/FileFor67/IWRM_Plan.doc) website.
- Caparrós, A. (2007). The Economics of Climate Change. The Stern Review. *Ecosistemas; Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(1), 124-125.
- CAPSUS. (2011). Guía para el desarrollo local sustentable (Banco Mundial ed., pp. 1-288). México, D.F.: Capital Sustentable (CAPSUS).
- Carreón, C., Ramírez, J., y Vega, M. (1995). Aplicación del diagrama de Stiff como herramienta geoquímica en la exploración geotérmica del valle de Mexicali, Baja California. *Hydraulic Engineering in Mexico*, X(3), 37-46.

- Carrillo-Guerrero, Y. (2009). *Water conservation, wetland restoration and agriculture in the Colorado River delta, México*. Doctor of Philosophy with a Major in Renewable Natural Resources Studies, The University of Arizona, Arizona, EUA. Available from <http://gradworks.umi.com/33/89/3389187.html> ProQuest Dissertations and Theses-Gradworks <http://gradworks.umi.com/browse/> database.
- Cavazos, T., Graef, F., Cueto, R., *et al.* (2010, 2010). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático Retrieved 10 de Diciembre de 2012, 2012
- CEA. (2008). *Programa Estatal Hídrico 2008 - 2013*. Baja California, México: CEA.
- CEA. (2013). *Informe Mensual, Octubre de 2013. Reunión de Trabajo con las Comisiones del Agua (CESPS). Ley de Ingresos 2014*. Mexicali, B.C.: CEA.
- CESPM. (2012). Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali Retrieved 13 de Abril de 2012, 2012
- CESPM. (2014). Plantas Potabilizadoras. Retrieved from Plantas Potabilizadoras website: <http://www.cespm.gob.mx/plantapot3.html>
- CILA. (2012). *Acta 319*. Coronado, California: CILA.
- CNA. (2010). *Estadísticas del agua en México; edición 2010*. México: Obtenido del sitio web [http://www.agua.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=11169:estadisticas-del-agua-en-mexico-edicion2010&catid=1128:estadisticas&Itemid=100062](http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=11169:estadisticas-del-agua-en-mexico-edicion2010&catid=1128:estadisticas&Itemid=100062) el día 13 de Abril de 2012.
- Cohen, M., y Henges-Jeck, C. (2001). Missing water. In T. C. Foundation, T. D. a. L. P. Foundation & a. t. O. C. G. Program (Eds.), *Pacific Institute* (Septiembre de 2001 ed., pp. 54). Oakland, CA: Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security.
- Cohen, M., Henges-Jeck, C., y Castillo-Moreno, G. (2001). A preliminary water balance for the Colorado River delta, 1992-1998. *Journal of Arid Environments*, 49, 35-48. doi: 10.1006/jare.2001.0834
- CONAGUA. (2009). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Mexicali, Estado de Baja California*. (Segunda Sección). Baja California: CONAGUA.
- CONAPO. (2003). Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2000-2050. In V. Partida (Ed.), *Documentos Metodológicos*. México, D. F.: CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN.
- CONAPO. (2005, 2005). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005. *Documentos de Análisis* Retrieved 16 de Febrero de 2015, from [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delimex05/DZMM-2005\\_3.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delimex05/DZMM-2005_3.pdf)
- CONAPO. (2010). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2010*. México, D.F.: Secretaria de Gobernación.
- Conde, A., y Gay, C. (2008). Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional. *Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*, 1, 105.
- Consejo Consultivo del Agua, A. C. (2011). Gestión del agua en las ciudades de México (Vol. Segundo Reporte, pp. 35). Ciudad de México: Consejo Consultivo del Agua, A.C.
- COPLADE. (2002 – 2007). *Plan Estatal de Desarrollo 2002 – 2007*. México.
- COPLADE. (2014). *Crecimiento de la Población en Baja California, 2014-2030*. Mexicali, B.C.: Gobierno del Estado de Baja California.

- Chapagain, A., y Hoekstra, A. (2004). Water footprints of nations (U.-I. Delft, Trans.). In U.-. IHE (Ed.), *Value of water* (Vol. Volume 1: Main Report, pp. 80). Países Bajos: Institution for water education.
- Christensen, N., y Lettenmaier, D. (2007). A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1417 - 1434.
- Christensen, N., Wood, A., Voisin, N., *et al.* (2004). The Effects of Climate Change on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin. *Climatic Change*, 62(1-3), 337-363.
- De la Peña, A., Puente, I., y Díaz, E. (1979). *Modelo geológico del campo geotérmico de Cerro Prieto*. Paper presented at the Segundo Simposio sobre el campo geotérmico de Cerro Prieto, Mexicali, B.C.
- Dourojeanni, A., y Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. (99-12-968, LC/R. 1948). Santiago Chile.
- EPA. (2012). Climate Change: Basic Information Retrieved 22 de Noviembre de 2012, 2012
- Erickson, J. (1992). *El Efecto Invernadero; El desastre de mañana, hoy*: Mc Gray-Hill Interamericana de España, S.A.
- Fankhauser, S. (1995). Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse Earthscan (Ed.) (pp. 180).
- Flessa, K., Onken, J., y Zamora, F. (2009). The plumbing of the Colorado River Delta in Mexico. In U. o. Arizona (Ed.), *Department of Geosciences* (Design and artwork by Colleen Hench ed., Vol. 85721, pp. 1). Tucson, Arizona: Research Coordination Network: Colorado River Delta, Department of Geosciences, University of Arizona.
- Ford, A. (1999). *Modeling the environment; An Introduction to System Dynamics Modeling of Environment Systems*. Washington, D.C. Covelo, California, Estados Unidos: Island Press.
- García, A. (2015, 1ero de Junio 2015). Crece posibilidad de recorte de agua para B.C. por sequías, *Monitor Económico de Baja California*.
- García, B. (2012). *El recurso hídrico en el Valle de Mexicali: escenarios futuros por el cambio climático*. Maestro en Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería.
- García, B., Ordorica, M., y (coordinadores). (2010). Volumen I; Población. In E. C. d. México (Ed.), *Los grandes problemas de México* (1 ed., Vol. 1, pp. 456). México, D.F.: 16 tomos. doi: 978-607-462-111-2 (obra completa)
- García, O., Santillán, N., Quintero, M., *et al.* (2013). Extreme temperature scenarios in Mexicali, Mexico under climate change conditions. *Atmósfera*, 26(4), 509-520.
- García, R., Santillán, N., Ojeda, S., *et al.* (2012). *Escenarios de temperaturas extremas en Mexicali, México; bajo condiciones de cambio climático*. Paper presented at the 8vo Congreso Internacional, Cambio climático. Extremos e impactos, Salamanca, España.
- Girardet, H. (2001). *Creando ciudades sostenibles*. Valencia, España: Tilde.
- Gob. BC. (2010, 25 de junio de 2010). Acuerdo del Ejecutivo del Estado, mediante el cual se declara la existencia de la Zona Metropolitana de Mexicali, *Periódico Oficial del Estado de Baja California*.
- Gómez, D., Zuluaga, M., y Hoyos, S. (2009). Definición sistémica y simulación dinámica de escenarios: Aplicación a la economía Colombiana 2002- 2027. pp.61.

- González, R., y Banderas, A. (2007). *Estudio Comparativo de Tres Metodologías para el Manejo y Cálculo de Caudales Ambientales en el Río Santiago, Nayarit, México*. Paper presented at the Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas. , Querétaro, México.
- Google Earth. (2012). Google Earth, Versión Pro (Version Pro). <http://www.google.com.mx/intl/es/earth/>: Google.
- Grant, W., Marín, S., y Pedersen, E. (2001). *Ecología y manejo de recursos naturales: análisis de sistemas y simulación* (Vol. 1). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Green Facts, H. s. l. s. y. e. m. y. C. s. l. D. B. (2007). Biodiversidad: Perspectiva mundial, Resumen de la segunda edición del informe del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD). *Green Facts*, 6.
- GWP, G. W. P. (2011). GWP in action, 2011 Annual Report. In G. W. P. (GWP) (Ed.), (Scriptoria Sustainable Development Communications ed., pp. 40). Stockholm, Suecia: Global Water Partnership (GWP).
- H. Ayuntamiento de Mexicali. (2012). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. *Mexicali* Retrieved 05 de Diciembre de 2012, 2012.
- Hansen, Z., Libecap, G., y Lowe, S. (2009). Climate variability and water infraestructre: Historical experience in the Western United States (pp. 35). Cambridge, MA, Estados Unidos: National Bureau of Economic Research.
- Hench, C., Flessa, K., Onken, J., *et al.* (2009). The Plumbing of the Colorado River Delta in Mexico. In R. C. Network (Ed.), *Colorado River Delta* (pp. El Delta del Río Colorado en México). Department of Geosciences: University of Arizona, Tucson.
- Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., *et al.* (2001). Climate Change 2001; the Scientific Basis. In I. P. o. C. C. 2001 (Ed.), *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 94). United Kingdom Nueva York, E.U.A. : Cambridge University Press.
- Hurd, B., y Harrod, M. (2001). Water resources: economic analysis. In G. w. a. t. A. economy (Ed.), *New horizons in environmental economics* (Vol. Robert Mendelsohn, pp. 106-131). Northampton, Ma, Estados Unidos: Edward Elgar.
- INEGI. (2001). *XII Censo General de Poblacion y Vivienda 2000. Baja California. Tabulados básicos*. Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI. (2010a). *México en cifras información nacional por entidad federativa y municipios*. Obtenido del sitio web <http://www2.inegi.org.mx/sistemas/mapatematicomexicocifras3d/default.aspx?e=2&mun=2&sec=M&ind=1003000018&ani=2010&src=0&i=> el día 13 de abril de 2012.
- INEGI. (2010b, 12 de Junio de 2010). México en cifras; información nacional por entidad federativa y municipios, México. *Información nacional, por entidad federativa y municipios* Retrieved 16 de Febrero de 2015, 2015.
- INEGI. (2014). Información por entidad, Baja California. Retrieved from INEGI <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/default.aspx?tema=me&e=02> website.
- IPCC, OMM, y PNUMA. (2007). *Cambio climático 2007; Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza: IPCC.

- Jiménez, J. (2010). Entrevista al Ing. Ing. Huberto Aldáz Hernández; Delegado de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), *La Voz de la Frontera*.
- Kiehl, J., y Trenberth, K. (1997). Earth's annual global mean; Energy budget (N. C. f. A. Research, Trans.). In N. C. f. A. Research (Ed.), *Bulletin of the American Meteorological Society* (Vol. 78, pp. 197-208). Boulder, Colorado.
- Kimura, G. (2008). *Methods and tools for defining Environmental Flow*. Paper presented at the Protecting Nature. Preserving life., Brasília, D.F., Brasil.
- Latorre, E. (1996). Capítulo 4.- Ejemplos de aplicación del enfoque de sistemas. In U. d. Valle (Ed.), *Teoría general de sistemas; Aplicada a la solución integral de problemas*. Santiago de Cali, Colombia: Ciudad Universitaria Meléndez.
- Ley, J. (2011). *Peligros hidrometeorológicos*. Mexicali, B.C.: Instituto de Investigaciones Sociales, UABC-Programa Hábitat 2010.
- Leyva, O. (1999). *Modelo de planeación para el manejo de agua residual municipal: Caso ciudad de Mexicali, Baja California*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.
- Leyva, O. (2011). *Transición hacia la sustentabilidad del desarrollo urbano de la ciudad-región de Mexicali, 1990-2005*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California.
- Liden, D. (2003). Wastewater Conveyance And Treatment Project For The Mexicali II Service Area. *Environmental Assessment*, 86.
- López, E. (1977). *El agua, la tierra; los hombres de México*. México.
- Management Committee. (2007). Colorado River Basin Water Management; Evaluating and Adjusting to Hydroclimatic Variability (National Research Council of the National Academies, Trans.). In Water Science and Technology Board (Ed.), *Division on Earth and Life Studies* (pp. 222). Washington, D.C.: The National Academies.
- Margalef, R. (1993). *Teoría de los sistemas ecológicos* (2da ed.). Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- Márquez, M. (2007, 21 de Octubre de 2007). Es Mexicali "líder" en gasto de agua, *La Crónica*.
- Medina, J., y Ortegón, E. (2006). Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe. In I. L. y. d. C. d. P. E. y. S. (ILPES) (Ed.), (pp. 435). Santiago de Chile: CEPAL.
- Melguizo, S. (1994). Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de abasto en las edificaciones. *Avances en Recursos Hidráulicos, Quinta edición*(1era parte), 318-326.
- Miltin, D., y Satterhwaite, D. (1994). *Cities and Sustainable Development*. Paper presented at the Global forum '94, Manchester, June 24-28, London: International Institute for Environment and Development.
- Miller, N., Bashford, K., y Strem, E. (2003). Potential Impacts of Climate Change on California Hydrology. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(4), 771 - 784.
- Morgan, J. (2008). Scott Barrett, Environment & Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making. *Int Environ Agreements*, 8, 79 - 81. doi: 10.1007/s10784-007-9032-8.
- Nava, G. (2010). Estudio de caso con utilización del instrumento de Katharine Kolcaba: teoría de rango medio del confort. [científico]. *Revista de Enfermería Neurológica*, 9(2), 61 - 108.
- Olmstead, S. (2013). Climate change adaptation and water resource management: A review of the literatura. *Energy Economics*, 46, 500 - 509.



- Olsen, S., Padma, T., y Richter, B. (2006). Guía para el Manejo del Flujo de Agua Dulce a los Estuarios (USAID, T. N. Conservancy & C. R. Center, Trans.). In USAID, T. N. Conservancy & C. R. Center (Eds.), *Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional* (pp. 52). Washington, D.C. : USAID
- ONU. (1992). *Agenda 21*. Paper presented at the United Nations Conference on Environment and Development Rio de Janeiro, Brasil.
- ONU. (2003). Guía de recursos para la transversalización del enfoque de género en la gestión del agua Organización de las Naciones Unidas. Retrieved 09 de Marzo de 2012, 2012.
- ONU. (2005). Water for life decade Obtenido del sitio web [www.un.org/spanish/waterforlifedecade/sanitation.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/sanitation.shtml) el día 09 de Marzo de 2012. Retrieved 09 de Marzo de 2012, 2012.
- ONU. (2005-2015). Agua y Salud. In UNW-DPAC (Ed.), *Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio* (pp. 6). España: ONU Organización de las Naciones Unidas.
- ONU. (2007). Afrontar la escasez de agua. Cada gota cuenta Retrieved 03 de Mayo de 2012, 2012.
- ONU. (2014, 24 de Noviembre de 2014). Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH). *Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida" 2005-2015* Retrieved 16 de Febrero de 2015, 2015.
- Padilla, E. (2012). La construcción social de la escasez de agua. Una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial. *Región y Sociedad*, 3, 91 - 116.
- PEACC, B. C. (2010, 2010). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático Retrieved 09 de Marzo de 2012, 2012.
- Pearce, D. W. (1985). *Economía Ambiental* (E. L. Suárez, Trans. Primera edición en español ed.). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Pitt, J., Hinojosa-Huerta, O., y Carillo-Guerrero, Y. (2010). Colaboración Binacional en la Cuenca del Río Colorado; Recomendaciones para prevenir una crisis de agua. *Environmental Defense Found*, 8.
- PNUD. (2011). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Retrieved 09 de Marzo de 2012, 2012.
- Ravetz, J. (2000). *City Region 2020; Integrated Planning for a Sustainable Environment*. Reino Unido: Earthscan Publications Ltd.
- Resources, I., y COSUDE, A. S. p. e. D. y. I. C. (2003). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (IWRM): Un camino hacia la sostenibilidad. *Focus*, 1(03), 16.
- Richmond, B. (2001). An Introduction to Systems Thinking In H. P. Systems (Ed.), *Stella II: An Introduction to Systems Thinking In I. Systems* (Series Ed.) (pp. 3-34). Hannover, Alemania: Isse Systems.
- Rodríguez, J., Martín, C., Jiménez, C., Llorens, G. y Barrachina, E. (2009). El Futuro del Agua. In E. Planeta (Ed.), *Enciclopedia El Agua y la Vida* (Vol. Tomo: El Futuro del Agua). Barcelona, España: Editorial Planeta.
- Ruddiman, W. (2007). Earth's Climate; Past and Future W. H. F. a. Company (Ed.) (pp. 188). Retrieved from Amazon <http://www.amazon.com/> database.
- Saavedra, S. (1991). *Medición del agua en las ciudades mexicanas*. Paper presented at the Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua, México, D.F., México.

- Salazar, A., y Masera, O. (2010). México ante el Cambio Climático; Resolviendo Necesidades Locales con Impactos Globales. In A. C. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (Ed.), (pp. 43). México: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, A.C.
- Salazar, A., y Pineda, N. (2010). Escenarios de demanda y políticas para la administración del agua potable en México: el caso de Hermosillo, Sonora. [artículo]. *Región y Sociedad*, 22.
- Sánchez-Santillán, N., y Garduño-López, R. (2007). El clima, la ecología y el caos desde la perspectiva de la teoría general de sistemas. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología*, VIII(3), 183-195.
- Sánchez, O. y. S., E. (2000). *Valle de Mexicali: el agua y sus hombres*. México.
- SE. (2012). *Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas*. (NMX-AA-159-SCFI-2012). México, D.F.: Secretaría de Economía.
- SEDESOL. (2012). *Catálogo Sistema Urbano Nacional 2012*. (978-607-427-167-6). México, D.F.: Secretaría de Desarrollo Social.
- SEMARNAT. (2008). Estadísticas del Agua en México Vol. Edición 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.) (pp. 231). Retrieved from CONAGUA database  
Retrieved from [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM\\_2008.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM_2008.pdf)
- SEMARNAT. (2012). Agua Retrieved 13 de abril de 2012, 2012, from [http://www.agua.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=section&id=6&Itemid=28](http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=section&id=6&Itemid=28)
- Slaughter, R., y Wiener, J. (2007). Water, adaptation, and property rights on the Snake and Klamath Rivers. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(2), 308 - 321. doi: 10.1111/j.1752-1688.2006.00024.x
- SMN. (2014, 2014). Normales climatológicas por estación. *Temperaturas y Lluvia* Retrieved 20 de Febrero de 2015, 2015.
- SPA. (2013). *Programa estatal de acción ante el cambio climático de Baja California*. [http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/peacc\\_bc\\_2013.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/peacc_bc_2013.pdf); Gobierno del Estado de Baja California.
- Tjallingii, S. (1995). *Ecopolis; Strategies for ecologically sound urban development*. Leiden, Países Bajos: Backhuys Publishers.
- Trenberth, K., y Kiehl, J. (1997). Earth's Annual Global Mean; Energy Budget. *National Center for Atmospheric Research*, 78(2), 197-208.
- UNDP. (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México SEMARNAT (Ed.) *Compendio de estadísticas ambientales* Retrieved from SEMARNAT [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/) database.
- Vanuytrecht, E., Raes, D., Steduto, P., et al. (2014). AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environmental Modelling & Software*, 62(0), 351-360.
- Vizcarra, C. (2014). *Plan Estatal de Desarrollo 2014 - 2019*. Mexicali, Baja California: Gobierno del Estado de Baja California.
- Von Bertalanffy, L. (1969). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. Nueva York, E.U.A.: George Braziller, Inc.

Von Bertalanffy, L. (1989). Teoría general de los sistemas; fundamentos, desarrollo, aplicaciones F. d. C. Económica (Ed.) (pp. 336). Retrieved from Archivo sociológico <http://archivosociologico.wordpress.com/> database.

Walther, A. (1996). *El Valle de Mexicali*. México.

White, R. (1994). *Urban Environmental Management. Environmental Change and Urban Design*. Inglaterra.