



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
CIVIL – OBRAS HIDRÁULICAS

“PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA  
CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC”

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. ROCÍO CONSUELO RODRÍGUEZ SALAZAR

TUTOR PRINCIPAL  
M.I. JUAN CARLOS, VALENCIA, VARGAS, FACULTAD DE INGENIERÍA

JIUTEPEC, MORELOS, FEBRERO, 2015

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Aparicio Mijares Francisco Javier

Secretario: Dr. Garcia Villanueva Nahun Hamed

1er. Vocal: M. I. Valencia Vargas Juan Carlos

2do. Vocal: M. I. Pedroza González Edmundo

3er. Vocal: M.I. Gonzalez Verdugo José A.

Lugar donde se realizó la tesis:

**TUTOR DE TESIS:**

M.I. Juan Carlos Valencia Vargas

---

**FIRMA**

## Índice

<b>SÍNTESIS DE LA TESIS .....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

### **CAPÍTULO I**

#### **“GENERALIDADES”**

<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5. MARCO LEGAL DE LA PLANEACIÓN HÍDRICA.....</b>	<b>6</b>
<b>1.6. MARCO INSTITUCIONAL .....</b>	<b>7</b>
<b>1.7. ESTUDIOS PREVIOS.....</b>	<b>1</b>

### **CAPITULO II**

#### **“CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC”**

<b>2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CUENCA (UBICACIÓN GEOGRÁFICA).....	3
2.1.2. HIDROGRAFÍA.....	6
2.1.3. TIPO DE CUENCA.....	7
2.1.4. EFICIENCIA DE LA CUENCA.....	8
2.1.4.1. <i>Orden de corrientes u orden de la cuenca.....</i>	<i>8</i>
2.1.4.2. <i>Densidad de corrientes.....</i>	<i>8</i>
2.1.4.3. <i>Densidad de drenaje.....</i>	<i>9</i>
2.1.4.4. <i>Pendiente media de la cuenca.....</i>	<i>9</i>
2.1.4.5. <i>Pendiente media del cauce principal.....</i>	<i>9</i>
2.1.4.6. <i>Sinuosidad del cauce principal.....</i>	<i>11</i>
2.1.5. CLIMA.....	12
2.1.6. TEMPERATURA.....	13
2.1.7. PRECIPITACIÓN.....	15
2.1.8. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	18
2.1.9. OROGRAFÍA.....	20
2.1.10. TIPO DE SUELO.....	21
<b>2.2. AGUA SUBTERRÁNEA .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA CUENCA.....</b>	<b>23</b>
2.3.1. PRINCIPALES USOS DEL AGUA .....	23

2.3.2. POBLACIÓN .....	24
COBERTURA DE AGUA POTABLE .....	27
2.3.3. COBERTURA DE AGUA POTABLE .....	28
2.3.4. PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS RESIDUALES .....	29
2.3.5. <i>Calidad del agua superficial</i> .....	30
2.3.6. USO DE SUELO .....	33
2.3.7. <i>Sector agrícola</i> .....	33
2.3.8. <i>Sector industrial</i> .....	38
<b>2.4. AMENAZAS CLIMÁTICAS Y SOCIOECONÓMICAS .....</b>	<b>39</b>
2.4.1. <i>Inundaciones</i> .....	40

### CAPÍTULO III

#### “DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC”

<b>3.1. BALANCE DE AGUA SUPERFICIAL.....</b>	<b>47</b>
3.1.1. <i>VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO</i> .....	47
3.1.1.1. <i>Volumen medio anual de escurrimiento natural</i> .....	48
3.1.1.2. <i>Volumen anual de retornos</i> .....	51
3.1.1.3. <i>Volumen anual de exportaciones</i> .....	52
3.1.1.4. <i>Volumen anual de extracción de agua superficial</i> .....	52
<b>3.2. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA .....</b>	<b>53</b>

### CAPÍTULO IV

#### “PROYECCIONES”

<b>4.1. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA .....</b>	<b>56</b>
4.1.1. USO PÚBLICO URBANO.....	56
4.1.2. USO AGRÍCOLA.....	60
4.1.3. USO INDUSTRIAL .....	61
4.2. CAMBIO CLIMÁTICO.....	62
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	65

### CAPÍTULO V

#### “PLAN DE ACCIÓN”

<b>5.1. ELEVADO CONSUMO Y DESPERDICIO DEL RECURSO HÍDRICO .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1.1. USO PÚBLICO URBANO .....</b>	<b>68</b>
5.1.2. USO AGRÍCOLA.....	77
5.1.3. USO INDUSTRIAL .....	79
<b>5.2. BAJO CONTROL EN LA CONTAMINACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL .....</b>	<b>80</b>
<b>5.3. EXISTE UN CIERTO GRADO DE DEFICIENCIA EN LA GOBERNABILIDAD DEL AGUA.....</b>	<b>81</b>

5.4. INUNDACIONES RECURRENTE.....	81
5.5. LIMITACIONES EN LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA.....	85
5.6. BAJA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA.....	85
5.7. EN EL CAUCE SE PRESENTA ARRASTRE Y DEPÓSITO DE SEDIMENTOS, BASURA, FALLA DE TALUDES E INVASIÓN A ZONAS FEDERALES.....	86

## CAPÍTULO VI

### “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

PROBLEMÁTICA.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	92

### Anexos

ANEXO 1. DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA .....	95
ANEXO 2. POLÍGONOS DE THIESSEN.....	96

## Síntesis de la tesis

La gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas hidrológicas consiste en armonizar el uso, aprovechamiento y administración de todos los recursos naturales y el manejo de los ecosistemas comprendidos en la cuenca.<sup>1</sup>

En el presente documento se analizó el panorama general de la situación actual del manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Yautepec, con lo que se propusieron las bases para un plan de gestión integrada y se identificaron líneas de acción para un mejor manejo de dichos recursos.

Se estudiaron las características generales de la cuenca para integrar las bases del manejo de los recursos hídricos, tales como: su ubicación geográfica, hidrografía, clima, precipitación, evapotranspiración, orografía, características socioeconómicas, principales usos del agua, cobertura de agua potable y alcantarillado, plantas tratadoras de aguas residuales y calidad del agua superficial. Después del análisis general de la cuenca, se realizó el balance de agua superficial y el de agua subterránea, dando como resultado una disponibilidad estimada de 8.84 hm<sup>3</sup> para el agua subterránea y no contando con disponibilidad de agua superficial.

Se hicieron proyecciones del comportamiento del recurso hídrico dentro de la cuenca para así prever futuros problemas con el mismo, dando como resultado que, de seguir con la tendencia actual, entre otros problemas a enfrentar, se presentará un déficit de dicho recurso para el año 2020, el cual aumentará en años posteriores; por lo tanto, se propusieron diversas opciones para optimizar su uso en la cuenca y prevenir afectaciones de origen climatológico y la escasez del mismo, tales como: obras de protección contra inundaciones, tecnificación del campo, monitoreo sobre el uso del agua potable (por ejemplo tarifas o fugas) y campañas de concientización, entre otros.

---

<sup>1</sup> Fuente: [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)

# **Capítulo I**

## **“Generalidades”**

## **1.1. Introducción**

El presente trabajo estudia el panorama general de la situación actual<sup>2</sup> del manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Yautepec, con el fin de proponer las bases de un plan de gestión integrada de los recursos hídricos e identificar líneas de acción para un mejor manejo de dichos recursos.

La gestión integrada de los recursos hídricos es el proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable.<sup>3</sup>

Es decir, es el proceso de coordinación que debe darse entre el Estado, los usuarios del agua y la sociedad organizada para que, de manera conjunta, participen en la toma de decisiones contribuyendo en el desarrollo humano sustentable; así como prever la regulación de la explotación, uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, además de la preservación y sustentabilidad de los mismos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante los fenómenos hidrometeorológicos, daños a los ecosistemas vitales y al ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente.<sup>4</sup>

## **1.2. Problemática**

El Comité de Cuenca del Río Yautepec ha identificado como principales problemas de la cuenca los siguientes:

- 1) Elevado consumo y desperdicio del recurso hídrico.

En el estado de Morelos se ha vivido erróneamente con la percepción de que en la Cuenca del Río Yautepec se cuenta con un recurso hídrico abundante (Programa Hídrico Visión 2030 de Morelos, Conagua, 2010), sin embargo, el volumen de las corrientes superficiales es irregular a lo largo del año además de diversos factores que afectan directa o indirectamente la disponibilidad de agua superficial y subterránea.

---

<sup>22</sup> Año 2014

<sup>3</sup> Fuente: La Ley de Aguas Nacionales

<sup>4</sup> Fuente: Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos, CONAGUA, 2010

- 2) Bajo control en la contaminación de agua superficial.
- 3) Existe un cierto grado de deficiencia en la gobernabilidad del agua.
- 4) Inundaciones recurrentes.
- 5) Limitaciones en la disponibilidad del agua.
- 6) Baja productividad agrícola.
- 7) Arrastre y depósito de sedimentos, basura, falla de taludes, entre otras afectaciones físicas.
- 8) Invasión a zonas federales

En años recientes, en el río Yautepec se ha incrementado la presencia, recurrencia y magnitud de zonas de conflicto y afectación hídrica, donde las actividades económicas sufren una paralización recurrente por las inundaciones provocadas en época de lluvia, las áreas de cultivo se ven dañadas gravemente y los inconvenientes para los habitantes de estas zonas son muchos<sup>5</sup>.

A la fecha, las autoridades municipales, estatales y federales, en coordinación con la población civil organizada, han tomado cartas en el asunto; sin embargo, las medidas han sido de carácter aislado y de emergencia, por lo que sólo han servido como atenuantes al problema.

El clima dentro de la cuenca del Río Yautepec presenta en su totalidad lluvias en verano y, en general, climas subhúmedos. Cabe mencionar que, como en la mayoría de los acuíferos del país, se presenta una disminución de la disponibilidad del agua subterránea en el acuífero Cuautla-Yautepec año con año que hasta ahora no ha presentado problemas en la cuenca, sin embargo, no se cuenta con un Comité de Cuenca y Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) en el acuífero de la cuenca que analice y esté monitoreando el comportamiento del mismo.

Lo anterior mencionado resume a grandes rasgos la problemática que, de acuerdo al Comité de Cuenca del Río Yautepec, se presenta dentro de la cuenca y que se busca analizar y dar soluciones en el Plan de Gestión Integrada de la Cuenca.

---

<sup>5</sup> Fuente: Estudio de Aprovechamiento Hidráulico Integral y de Control de Inundaciones en el Río Yautepec (Municipios de Yautepec, Tlatizapán, Tlaquiltenango y Jojutla), en el Estado de Morelos. CEAMA.

### **1.3. Justificación**

La Ley de Aguas Nacionales establece que es de utilidad pública la gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto de seguridad nacional. El Programa Nacional Hídrico es el documento rector que integra los planes hídricos de las cuencas a nivel nacional, en el cual se definen la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias, prioridades y políticas, para lograr el equilibrio del desarrollo regional sustentable y avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos.

A pesar de contar con el Programa Nacional Hídrico y con el Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010, no se tiene un estudio detallado a nivel subcuenca que determine las características y necesidades específicas de la misma, para así utilizar el recurso hídrico de manera eficiente, protegiendo los cuerpos de agua, garantizar un desarrollo sustentable, preservar el medio ambiente y proteger a la población; por lo que se debe realizar un Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para la cuenca del río Yautepec.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Plantear las bases para definir líneas de acción para un Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Yautepec

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar las necesidades o problemáticas con respecto al recurso hídrico en la cuenca del río Yautepec
- Determinar la oferta y demanda del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Yautepec.
- Proponer probables soluciones a las problemáticas detectadas.

### **1.5. Marco legal de la planeación hídrica**

La planeación de los recursos hídricos está regida por el modelo general de planeación nacional. Cada administración federal elabora un Plan Nacional de Desarrollo (PND) que da origen a programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales. Uno de ellos es el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PNMA), el cual representa el marco que establece los principios bajo los cuales se han diseñado las estrategias del sector ambiental.

Del PND y PNMA se elabora el Programa Nacional Hídrico, con la participación de usuarios de aguas nacionales y sociedad, como se enfatiza en la Ley de Aguas Nacionales, que además contempla la elaboración de subprogramas específicos para cuencas hidrológicas con problemas que requieren la atención inmediata.

La misma Ley prevé que en los consejos de cuenca y sus órganos auxiliares se desarrollen los mecanismos permanentes de consulta que aseguran la participación y corresponsabilidad de los usuarios y demás grupos sociales interesados en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de cada cuenca.

El artículo 2 de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) 2012 señala que:

“Las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente ley señala.”

En el artículo 7 se declara de utilidad pública:

- I. La gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto de seguridad nacional.

En el artículo 7 Bis. se declara de interés público:

- IV. El mejoramiento permanente del conocimiento sobre la ocurrencia del agua en el ciclo hidrológico, en su explotación, uso o aprovechamiento y en su conservación en el territorio nacional, y en los conceptos y parámetros fundamentales para alcanzar la gestión integrada de los recursos hídricos, así como la realización periódica de inventarios de usos y usuarios, cuerpos de agua, infraestructura hidráulica y

equipamiento diverso necesario para la gestión integrada de los recursos hídricos.

El artículo 14 Bis. 5 indica que los principios que sustentan la política hídrica nacional son:

- I. El agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad, calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del estado y la sociedad, así como prioridad y asunto de seguridad nacional.
- II. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos por cuenca hidrológica es la base de la política hídrica nacional.
- III. La gestión de los recursos hídricos se llevara a cabo en forma descentralizada e integrada privilegiando la acción directa y las decisiones por parte de los actores locales y por cuenca hidrológica.
- X. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos por cuenca hidrológica, se sustenta en el uso múltiple y sustentable de las aguas y la interrelación que existe entre los recursos hídricos con el aire, el suelo, flora, fauna, otros recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas que son vitales para el agua.

Artículo 15. La planificación hídrica es de carácter obligatorio para la gestión integrada de los recursos hídricos, la conservación de recursos naturales, ecosistemas vitales y el medio ambiente.

#### **1.6. Marco institucional**

Como ya se ha mencionado, la gestión integrada de los recursos hídricos de las cuencas hidrológicas consiste en armonizar el uso, aprovechamiento y administración de todos los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna) y el manejo de los ecosistemas comprendidos en la cuenca; tomando en consideración tanto las relaciones establecidas entre recursos y ecosistemas como los objetivos económicos y sociales, así como las prácticas productivas y formas de organización que adopta la sociedad para satisfacer sus necesidades y procurar su bienestar en términos sustentables. Las instituciones vinculadas directa o indirectamente con la gestión integrada del recurso hídrico son:

Nivel	Institución
<b>Federal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)</li> <li>◆ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)</li> <li>◆ Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)</li> <li>◆ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)</li> </ul>
<b>Estatad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Secretaría de Desarrollo Social (SDS)</li> <li>◆ Comisión Estatal del Agua (CEA)</li> <li>◆ Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO)</li> <li>◆ Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)</li> </ul>
<b>Municipal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Organismos operadores</li> <li>◆ Obras Públicas</li> <li>◆ Protección civil</li> </ul>
<b>Organización no gubernamental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Consejos Ciudadanos</li> </ul>

Para facilitar la gestión integrada de las cuencas hidrológicas, la Ley de Aguas Nacionales establece en el artículo 13 que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establezca Consejos de Cuenca, los cuales serán instancias de coordinación, apoyo, consulta y asesoría entre la Comisión (incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda), y las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal y municipal, y los representantes de los usuarios del agua, de la respectiva cuenca hidrológica. Estos Consejos tienen como finalidad la concertación de objetivos y acciones entre los tres niveles de gobierno y los usuarios del agua, en relación con los recursos naturales de la cuenca.

A su vez, la misma Ley y su Reglamento prevén que los Consejos cuenten con organizaciones auxiliares al nivel de subcuenca y acuífero; denominadas respectivamente Comisiones de Cuenca, Comités de Cuenca y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS).

Para la cuenca del Río Yautepec se tiene el siguiente marco institucional:

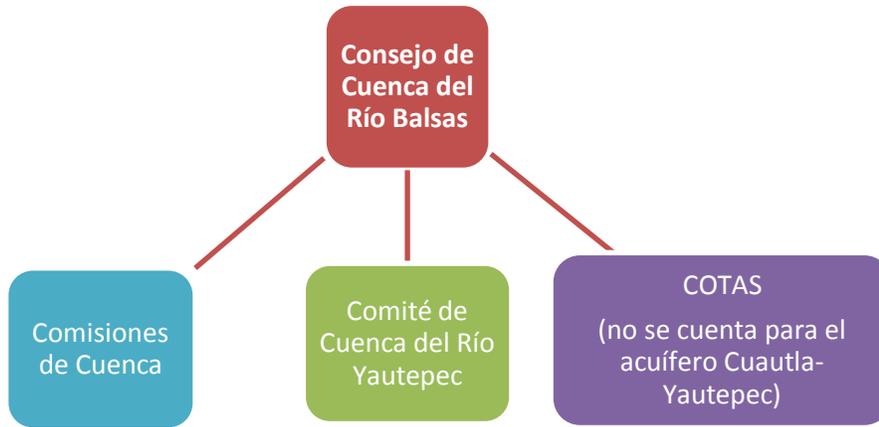


Diagrama 1. 1. Marco institucional de la cuenca del Río Yautepec

La Comisión, con apoyo en los Organismos de Cuenca, integrará los programas partiendo del nivel local hasta alcanzar la integración de la programación hídrica en el nivel nacional:



Diagrama 1. 2. Integración de la planeación hídrica. Fuente: Gestión Integrada de los recursos hídricos en México, CONAGUA, 2006

## 1.7. Estudios previos

Se han realizados diversos estudios en ciertas zonas dentro de la cuenca del río Yautepec, sin embargo, solo se han realizado algunos estudios que integran la cuenca completa, los cuales son:

- “Estudio de Aprovechamiento Hidráulico Integral y de Control de Inundaciones en el Río Yautepec (Municipios de Yautepec, Tlatizapán, Tlaquiltenango y Jojutla), en el Estado de Morelos. CEAMA, 2005”

*Objetivo:* Analizar alternativas de solución y seleccionar la más óptima para disminuir y/o evitar las afectaciones a la población y áreas productivas causadas por las inundaciones generadas por el desbordamiento del río Yautepec; implementando modelos de simulación para analizar el comportamiento de la corriente.

- Tesis con título “Análisis del Riesgo por inundaciones como consecuencia del Desbordamiento del Río Yautepec, Morelos, México”, por Ángel Emmanuel Zuñiga Tovar, 2009

*Objetivo:* Analizar e integrar la información hidrológica de la cuenca del río Yautepec con la finalidad de generar la cartografía de peligros correspondiente a tres periodos de retorno (2,5 y 10 años), así como diagnosticar la vulnerabilidad socioeconómica y la percepción del riesgo en viviendas y comercios antes el impacto de inundación.

Los estudios ya presentados consideran como prioridad el tema de las inundaciones, a diferencia y en complemento, mediante un análisis orientado hacia la gestión integrada de los recursos hídricos, en este trabajo se incorporan otros factores y fenómenos hídricos relevantes de la cuenca en favor a un desarrollo sustentable.



## **Capítulo II**

### **“Características generales de la cuenca del Río Yautepec”**

Para realizar el plan de gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca, se parte de la caracterización física de la misma, para posteriormente dar paso al análisis de su problemática y al planteamiento de propuestas de solución.

## 2.1. Características físicas de la cuenca

### 2.1.1. Identificación de la cuenca (ubicación geográfica)

La cuenca del Río Yautepec se encuentra en su mayor parte dentro de la Región Hidrológica Administrativa (RHA) IV Balsas y, como se puede observar en la figura 2.1, una pequeña franja de la parte norte se encuentra dentro de la RHA XIII Aguas del Valle de México.



Figura 2. 1. Mapa de las RHA para la ubicación de la cuenca del Río Yautepec.  
Fuente: Elaboración propia con shapefiles de CONABIO.

De acuerdo con el Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010, el 87% del estado de Morelos se encuentra dentro de la cuenca del río Amacuzac, y ésta a su vez se divide en subcuencas como se muestra en la figura 2.2, dentro de la cual se encuentra la cuenca del Río Yautepec.



Figura 2. 2. Subcuencas colindantes a la subcuena del Río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

La cuenca del Río Yautepec limita al oeste con la cuenca del río Apatlaco, al este con la cuenca del río Cuautla, al norte con la cuenca del Lago de Texcoco y Zumpango y al sur con la cuenca del río Amacuzac.



Figura 2. 3. Ubicación de la Cuenca del río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Se ubica en la porción central del estado de Morelos, una parte del Distrito Federal y otra del Estado de México (figura 2.3); con una superficie total de 1,600.83 km<sup>2</sup>. La superficie de la cuenca corresponde al 25.8 % del estado de Morelos, el 6.6 % del Distrito Federal y el 0.97 % del Estado de México; lo que en conjunto representa el 0.08 % del territorio Nacional.



Figura 2. 4. Municipios que integran la Cuenca del río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con cartas geográficas del INEGI 2009.

La cuenca está integrada por 24 municipios como se muestra en la figura 2.4, y se distribuye espacialmente como se muestra en la tabla siguiente:

Núm.	Municipio	Estado	Área total (km <sup>2</sup> )	Área dentro de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Area del municipio dentro de la cuenca (%)	% de la cuenca
1	Milpa Alta	Distrito Federal	296.73	98.65	33.25	6.16
2	Amecameca	Edo. de México	188.39	29.06	15.43	1.82
3	Atlautla	Edo. de México	161.18	51.81	32.14	3.24

Núm.	Municipio	Estado	Área total (km <sup>2</sup> )	Área dentro de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Área del municipio dentro de la cuenca (%)	% de la cuenca
4	Juchitepec	Edo. de México	139.99	59.36	42.40	3.71
5	Ozumba	Edo. de México	45.86	32.72	71.35	2.04
6	Tepetlixpa	Edo. de México	43.09	43.09	100.00	2.69
7	Atlatlahucan	Morelos	79.02	67.71	85.69	4.23
8	Ayala	Morelos	375.59	117.41	31.26	7.33
9	Cuautla	Morelos	96.76	22.78	23.54	1.42
10	Cuernavaca	Morelos	198.77	13.87	6.98	0.87
11	Emiliano Zapata	Morelos	67.99	40.43	59.46	2.53
12	Huitzilac	Morelos	188.19	56.90	30.24	3.55
13	Jiutepec	Morelos	55.71	34.51	61.95	2.16
14	Jojutla	Morelos	152.92	50.95	33.32	3.18
15	Tepoztlán	Morelos	241.23	241.23	100.00	15.07
16	Tlalnepantla	Morelos	107.34	107.34	100.00	6.71
17	Tlaltizapán	Morelos	237.53	166.74	70.20	10.42
18	Tlaquiltenango	Morelos	542.13	53.70	9.91	3.35
19	Tlayacapan	Morelos	57.01	57.01	100.00	3.56
20	Totolapan	Morelos	59.69	59.69	100.00	3.73
21	Xochitepec	Morelos	92.87	2.93	3.15	0.18
22	Yautepec	Morelos	191.16	191.16	100.00	11.94
23	Yecapixtla	Morelos	176.03	0.01	0.01	0.00
24	Zacatepec de Hidalgo	Morelos	26.21	1.77	6.75	0.11
			Σ	1,600.83		100.00

Fuente: Conjunto de datos vectoriales de municipios, INEGI. 2009.

### 2.1.2. Hidrografía

El río Yautepec, cuyo cauce principal nace en las faldas del Volcán Popocatepetl, en el pico del Fraile conocido con el nombre de cañada Nexpayantla, cruza el poblado de Ozumba en el Estado de México, donde toma el nombre de barranca de Ozumba, pasa por el poblado de Atlatlahucan donde se le denomina barranca el Salto y es a partir de Oaxtepec que se le conoce como río Yautepec. El río desemboca en el río Amacuzac como se muestra en la figura 2.5

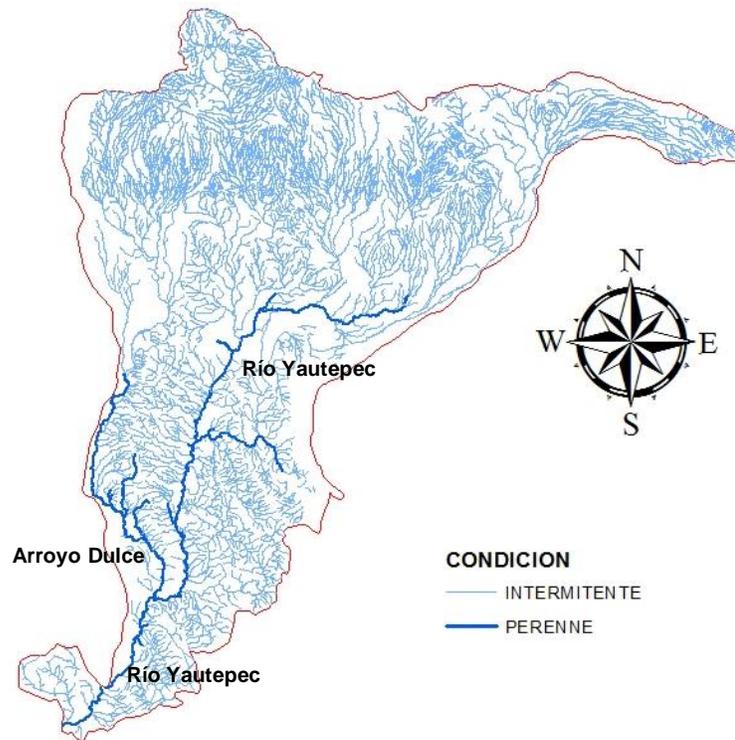


Figura 2. 5. Hidrografía de la cuenca del Río Yautepec

### 2.1.3. Tipo de cuenca

Debido a que el punto de salida de la cuenca del río Yautepec se encuentra al sur de la cuenca y a su vez se conecta al río Amacuzac, se trata de una cuenca tipo exorreica.<sup>6</sup>



Figura 2. 6. Esquema de cuenca exorreica

Toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal, a la cual se le unen sus correspondientes corrientes tributarias. Entre más corrientes tributarias tenga una

<sup>6</sup> Fundamentos de hidrología superficial, Francisco J. Aparicio M., Limusa

cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.

#### 2.1.4. Eficiencia de la cuenca

Como ya se comentó el área de la cuenca del río Yautepec es de 1,600.83 km<sup>2</sup> lo que la clasifica en intermedia-grande (Campos, 1998); dentro de sus principales características físicas destacan los siguientes indicadores:

##### 2.1.4.1. Orden de corrientes u orden de la cuenca.

El orden<sup>7</sup> de una cuenca es el mismo que el orden de la corriente principal en su salida; que en el caso de la cuenca del río Yautepec es de orden 7. De acuerdo con la clasificación de clases de orden de corriente de Horton-Strahler, la clase de corriente de la cuenca es alto por lo que tiene una buena red de drenaje y una estructura definida.

##### 2.1.4.2. Densidad de corrientes

Definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área, y se calcula con la ecuación siguiente:

$$D_s = \frac{N_s}{A}$$

donde

N<sub>s</sub> = número de corrientes perennes e intermitentes

A = área de la cuenca

Las principales corrientes de la cuenca del río Yautepec son en su mayor parte intermitentes en el norte (zona montañosa) y perennes desde la parte norte-centro hasta la salida. En la tabla siguiente se muestra la densidad de corrientes en la cuenca de río Yautepec.

Densidad de corrientes			
Corriente	A (km <sup>2</sup> )	Ns	Ds (corrientes/km <sup>2</sup> )
Río Yautepec	1600.83	5,243	3.28

<sup>7</sup> Horton, R.E. Erosional Development of Streams, Geol. Soc, Am. Bull

#### 2.1.4.3. Densidad de drenaje

Definida como la longitud de corrientes por unidad de área y se calcula:

$$D_d = \frac{L_s}{A}$$

Donde

$L_s$  = Longitud total de las corrientes

Densidad de drenaje			
Corriente	A (km <sup>2</sup> )	$L_s$ (km)	$D_d$ (km/km <sup>2</sup> )
Río Yautepec	1600.83	3,668.04	2.29

Strahler (1952) encontró en Estados Unidos valores de  $D_d$  desde 0.2 km/km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre hasta 3.5 km/km<sup>2</sup> para cuencas muy bien drenadas; por lo que al presentar una densidad de drenaje de 2.29 km/km<sup>2</sup> la clasifica como una cuenca bien drenada.

#### 2.1.4.4. Pendiente media de la cuenca

La pendiente de una cuenca hidrográfica posee una compleja dinámica relacionada con la infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y aporte de los cauces en la recarga del agua subterránea. Conocer estos factores físicos, que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y la influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas, es de vital importancia para la toma de decisiones en procesos de planificación. En el anexo 1 del presente documento se detalla la determinación de la pendiente media de la cuenca, dando como resultado un terreno ligeramente ondulado debido a que tiene una pendiente media de entre el 5 y el 12 por ciento.

#### 2.1.4.5. Pendiente media del cauce principal

La pendiente del cauce principal es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta y, debido a que la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media.

Para el cálculo de la pendiente media del cauce principal existen varios métodos, entre los cuales el más aceptado es el método de Taylor y Schwarz,

quienes proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{l_3}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 = \left[ \frac{L}{\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$

Donde:

$l_i$  = longitud del tramo  $i$

$S_i$  = pendiente del tramo  $i$

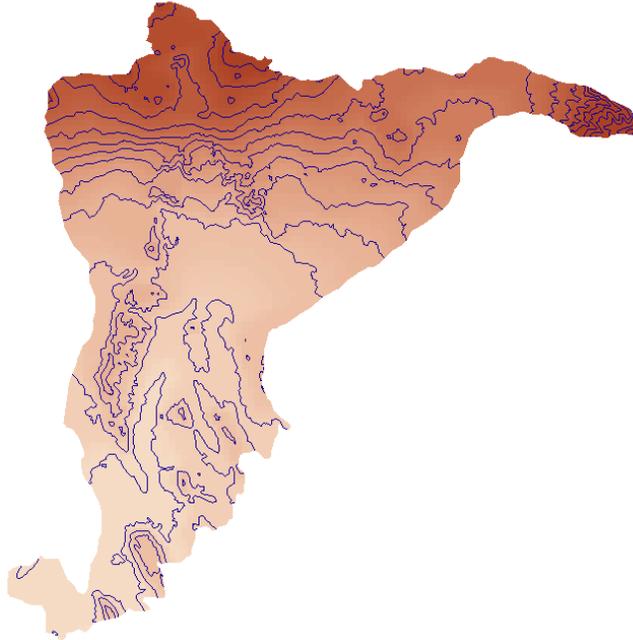
$m$  = número de tramos en los que está dividido el cauce

$L$  = longitud total del cauce medido en planta

Basándose en las curvas de nivel proporcionadas por el INEGI, complementándose con las curvas de nivel extraídas de Google Earth se tienen los siguientes resultados:

Cota 1	Cota 2	$l_i$ (km)	$S_i$	$S_i$ (%)	$\frac{l_i}{\sqrt{S_i}}$ (km)
1495	1400	5.07	0.019	1.87	37.04
1400	1200	18.46	0.011	1.08	177.35
1200	1130	3.89	0.018	1.80	29.00
1130	1100	1.18	0.025	2.54	7.40
1100	1090	0.1	0.100	10.00	0.32
1090	1080	0.22	0.045	4.55	1.03
1080	1070	0.11	0.091	9.09	0.36
1070	1060	0.15	0.067	6.67	0.58
1060	1050	0.29	0.034	3.45	1.56
1050	1040	1.26	0.008	0.794	14.14
1040	1030	0.06	0.167	16.667	0.15
1030	1020	0.08	0.125	12.500	0.23
1020	1000	1.46	0.014	1.370	12.47
1000	950	20.9	0.002	0.239	427.30
950	920	15.23	0.002	0.197	343.15
920	855	7.21	0.009	0.902	75.94
<b>L=</b>		<b>75.67</b>	<b>km</b>	<b>∑</b>	<b>1128.03</b>

## Curvas de nivel



Aplicando la formula se tiene: 
$$S = \left[ \frac{L}{\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2 = \left[ \frac{75.67}{1128.03} \right]^2 = 0.0045$$

$$S = 0.0045 = 0.45 \%$$

La pendiente media de la corriente principal (río Yautepec) de la cuenca tiene un valor de 0.45 % lo que lo clasifica en terreno plano; no obstante, en algunos tramos del río, específicamente en el municipio de Yautepec, se presentan pendientes entre 12 y 17 % que son propias de terreno ondulado.

### 2.1.4.6. Sinuosidad del cauce principal

La sinuosidad de un río es el índice que representa cuanto el trazado del río se aparta de una línea recta. Se mide por la relación entre la distancia que separa dos puntos a lo largo de la parte más profunda del cauce (talweg) y la distancia en línea recta entre ellos.

$$\text{Sinuosidad} = \frac{75.67 \text{ km}}{50.16 \text{ km}} = 1.51$$

Un cauce en línea recta tiene una sinuosidad de 1.0 mientras que se describen los ríos como meándricos cuando la sinuosidad es mayor de 1.5; por lo tanto, el Río Yautepec se clasifica como un río meándrico.

## 2.1.5. Clima

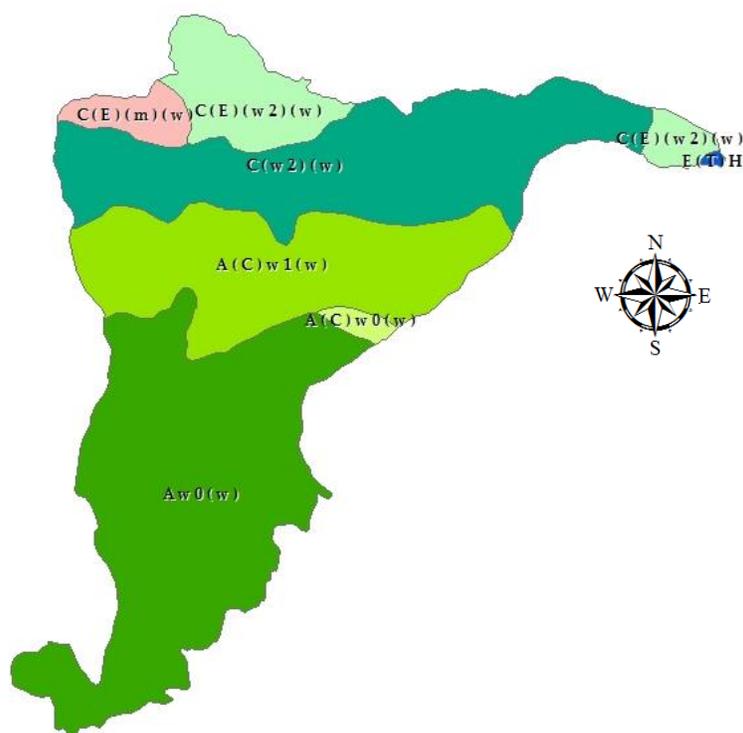


Figura 2. 7. Elaboración propia con conjuntos vectoriales unidades climáticas, INEGI.

La cuenca del río Yautepec dispone de un clima variado, desglosándose como se muestra en la tabla siguiente:

Clima dentro de la cuenca del Río Yautepec			
Tipo de clima		Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Clave	Nombre		
<b>Aw<sub>0</sub>(w)</b>	Cálido subhúmedo con lluvias en verano <sup>3</sup>	616.33	38.50
<b>C(w<sub>2</sub>)(w)</b>	Templado subhúmedo con lluvias en verano <sup>1</sup>	428.3	26.75
<b>C(E)(w<sub>2</sub>)(w)</b>	Semifrío subhúmedo con lluvias en verano y sequía en invierno <sup>1</sup>	146.84	9.17
<b>C(E)(m)(w)</b>	Semifrío húmedo con lluvias en verano	42.7	2.67
<b>E(T)H</b>	Muy frío subhúmedo con lluvias en verano <sup>1</sup>	2.24	0.14
<b>A(C)w<sub>1</sub>(w)</b>	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano <sup>2</sup>	351.23	21.94
<b>A(C)w<sub>0</sub>(w)</b>	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano <sup>3</sup>	13.19	0.82
<b>Total</b>		<b>1600.8</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de cartografía del INEGI, Mapas de climas con clasificación de Köppen modificada por García

<sup>1</sup> De los más húmedos de los subhúmedos

<sup>2</sup> Intermedio en cuanto al grado de humedad

<sup>3</sup> El más seco de los subhúmedos

## 2.1.6. Temperatura

La temperatura media en la cuenca se calculó con el método de las isoyetas; con base en la temperatura media anual de cada estación se realizaron las isotermas mostradas en la figura siguiente:

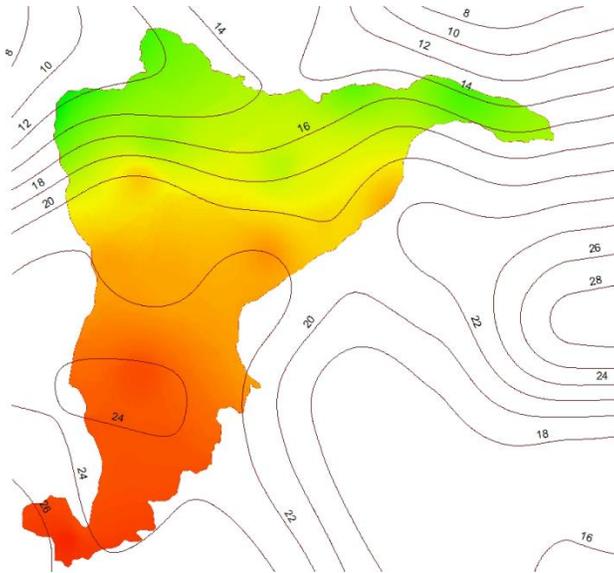


Figura 2. 8. Isotermas en la cuenca del Río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con datos de las estaciones climatológicas.

dando como resultado:

<b>Método isoyetas (ISOTERMAS)</b>				
<b>Isoterma</b>	<b>Temperatura media (tm) °C</b>	<b>Área km<sup>2</sup></b>	<b>tm*A</b>	
<b>10</b>	-	-	-	
<b>12</b>	11	18.60	204.60	
<b>14</b>	13	139.00	1807.00	
<b>16</b>	15	209.50	3142.50	
<b>18</b>	17	168.00	2856.00	
<b>20</b>	19	171.40	3256.60	
<b>22</b>	21	342.60	7194.60	
<b>24</b>	23	507.23	11666.29	
<b>26</b>	25	36.30	907.50	
<b>28</b>	27	8.20	221.40	
		1600.83	31256.49	
<b>Temperatura media =</b>			<b>19.53</b>	

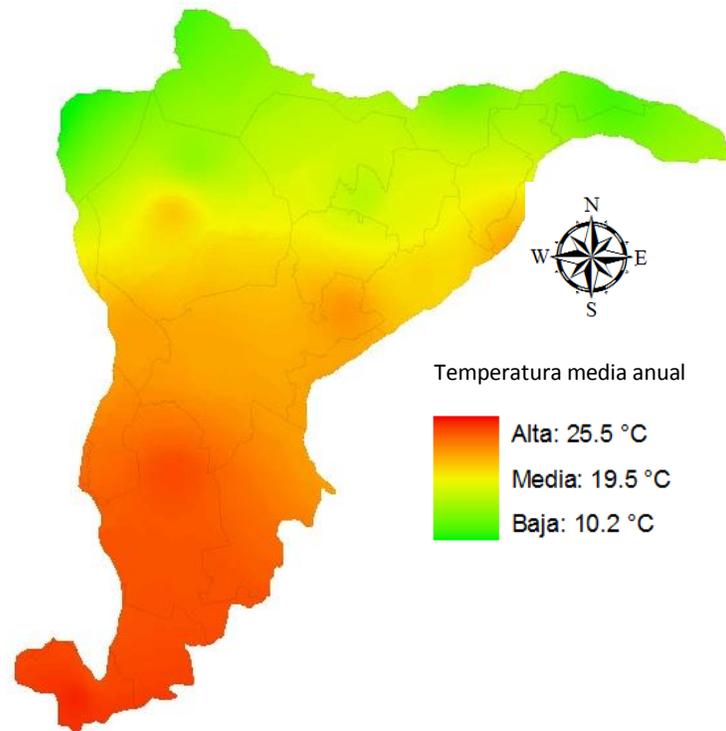


Figura 2. 9. Temperatura media anual en la cuenca del Río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con datos de las estaciones climatológicas.

La temperatura media anual de la cuenca es de 19.5 °C; no obstante, debido a que dentro de la cuenca existen temperaturas muy variadas se generó el mapa de temperaturas medias registradas por estación climatológica, dando como resultado la figura 2.9. Como se puede observar, la temperatura media más baja se encuentra en la zona norte de la cuenca, de 10.2 °C, aumentando paulatinamente hacia la zona sur hasta alcanzar una temperatura media anual de 25.5 °C.

Mostrando el mismo comportamiento que la temperatura media anual, las temperaturas máximas registradas dentro de la cuenca se encuentran en la zona sur de la misma (con hasta 48°C). El comportamiento cambia para las temperaturas mínimas registradas, ya que éstas se localizan principalmente en la zona noroeste de la cuenca.

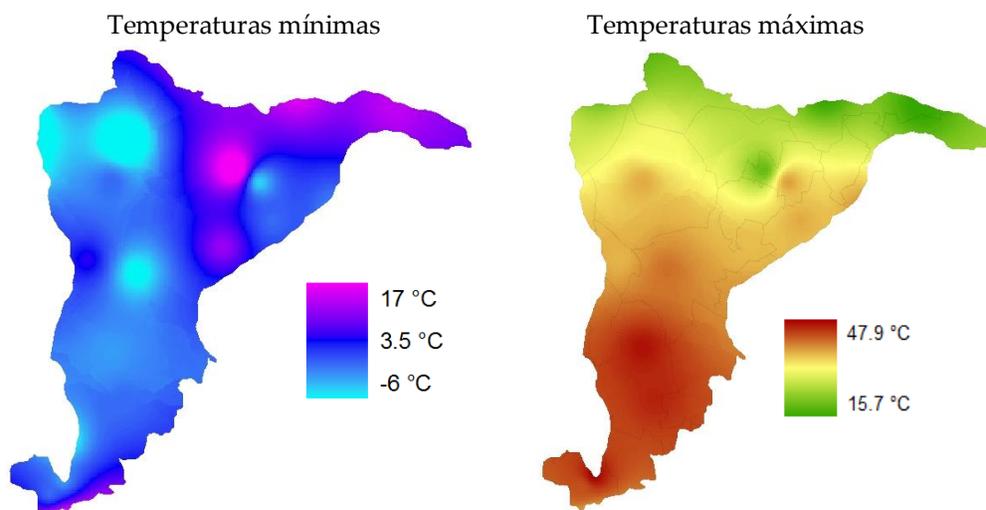


Figura 2. 10. Temperaturas mínimas y máximas registradas en la cuenca del Río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con datos de las estaciones climatológicas.

### 2.1.7. Precipitación

De acuerdo con la NOM-011-CNA-2000, si en la cuenca se cuenta con suficiente información pluviométrica de cuando menos 20 años, la precipitación media anual se determina a partir del análisis de los registros de las estaciones ubicadas dentro y vecinas a la cuenca, mediante el método de Polígonos de Thiessen o Isoyetas.

En la siguiente tabla se muestra el nombre de las 27 estaciones climatológicas mostradas en la figura 2.11, estando 13 estaciones dentro de la cuenca y 14 estaciones vecinas a la misma en operación, con registros mayores a 20 años y con influencia dentro de la cuenca:

Estaciones climatológicas dentro de la cuenca del Río Yautepec	
ID	Nombre
15103	S.Pedro Nexapa, Amecameca
17001	Atlatlahuacan, Atlatlah.
17012	Oaxtepec, Yautepec
17013	Temilpa, Tlaltizapan
17018	Ticuman, Tlaltizapan
17024	Yautepec, Yautepec
17031	Jojutla De Juarez (Smn)

Estaciones climatológicas dentro de la cuenca del Río Yautepec	
ID	Nombre
17033	Xicatlacotla, (Cfe)
17039	San Juan Tlacotenco,
17049	Tepoztlan E-12, Tepoztlan
17051	Totolapan E-10, Totolapan
17066	El Vigia, Tlalnepantla
17071	Progreso, Jiutepec

Estaciones climatológicas vecinas a la cuenca del Río Yautepec	
ID Estación	Nombre
9022	Km.39.5 A Cuernavaca
9041	San Fco. Tlalne.(Xochi)
9045	Santa Ana (Milpa Alta)
15039	Juchitepec, Juchitepec
17003	Cuautla, Cuautla (Smn)
17004	Cuernavaca, Cuernavaca
17005	Cuautla, Cuautla (Dge)

Estaciones climatológicas vecinas a la cuenca del Río Yautepec	
ID Estación	Nombre
17014	Temixco, Temixco
17022	Tres Cumbres, Huitzilac
17026	Zacatepec A.C.A.E.
17047	Huitzilac, Hutzilac
17056	San Pablo Hidalgo
17068	Achichipico D-4
17072	Alpuyeca, Xochitepec

Aplicando el método de los polígonos de Thiessen<sup>8</sup> se tiene que la precipitación media en la cuenca del río Yautepec es 1124.5 mm, 47.9% superior a la precipitación media<sup>9</sup> nacional que es de 760 mm

Lo anterior equivale a que en la cuenca se tiene un precipitación de 1.80 km<sup>3</sup>/año.

En la figura siguiente se muestra que se presenta una mayor precipitación en la parte norte de la cuenca, disminuyendo hacia el sur de la misma.

<sup>8</sup>Anexo 2. Aplicación del método de polígonos de Thiessen para el cálculo de la precipitación media

<sup>9</sup> Dato de las "Estadísticas del agua en México, edición 2011", Comisión Nacional del Agua

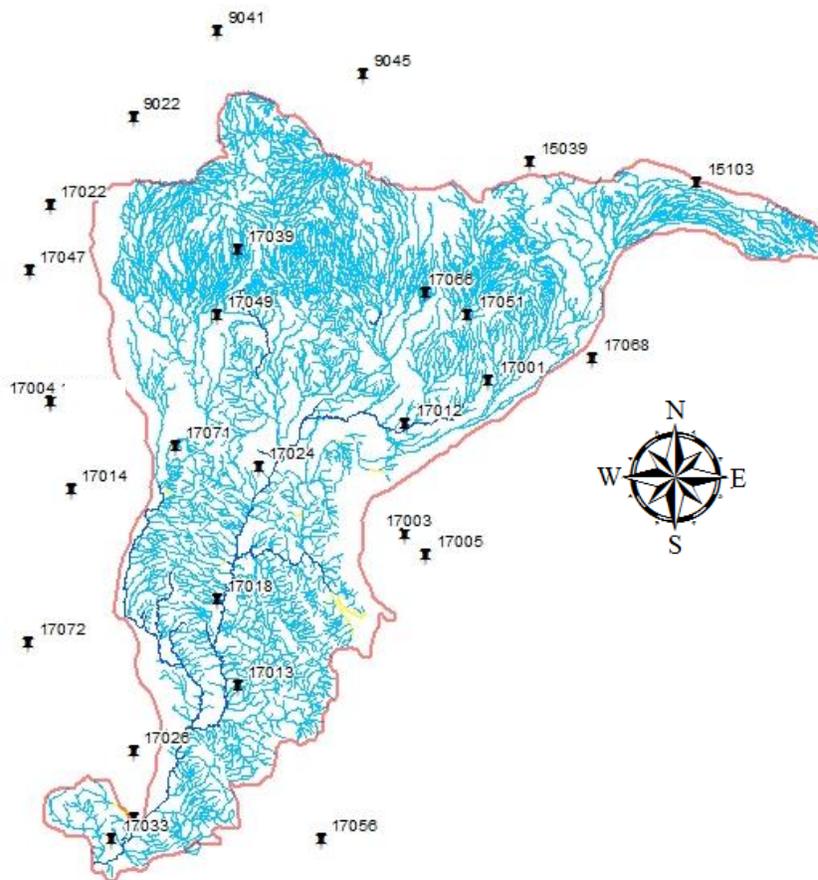


Figura 2. 11. Ubicación de las estaciones climatológicas

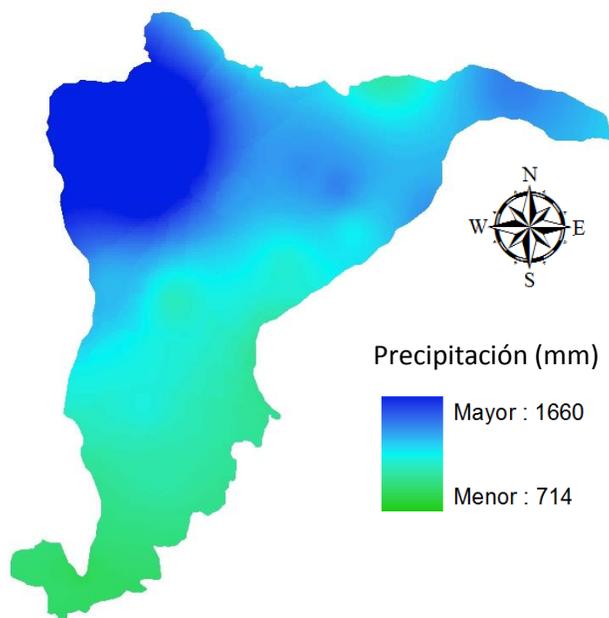


Figura 2. 12. Distribución de la precipitación media por estación climatológica. Fuente: Elaboración propia con datos de las estaciones climatológicas (1990-2011)

### 2.1.8. Evapotranspiración

Al no contar con suficientes instrumentos para medir y estimar la evapotranspiración en toda la cuenca (lisímetros, evapotranspirómetro de Thornthwaite, etc) mediante métodos directos, en este trabajo se optó por utilizar métodos indirectos. De acuerdo al documento: “Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas, IMTA, 2006”, las fórmulas más utilizadas para la determinación de este parámetro son: fórmula de Blaney-Criddle (recomendada para el cálculo en cultivos) y la fórmula de Turc (fórmula que relaciona la evapotranspiración con la precipitación y la temperatura). En este caso, considerando la información disponible, se utilizó la fórmula de Turc para determinar la evapotranspiración media de toda la cuenca, aplicándola por estación climatológica y, posteriormente, con un promedio.

Estación	T, °C	L	P, mm/año	ET, mm/año
15103	13.7	771.07	1184.9	656.1
17001	20.1	1208.53	1029.2	807.3
17012	22.1	1392.19	978.5	828.8
17013	24.0	1591.20	924.4	831.0
17018	24.3	1624.95	994.9	881.1
17024	21.6	1343.88	954.5	805.4
17031	24.2	1613.62	801.5	748.5
17033	25.1	1718.16	833.3	782.1
17039	15.8	892.22	1598.8	788.5
17049	20.4	1234.48	1402.8	947.6
17051	18.6	1086.74	1177.8	817.7
17066	17.2	984.42	1162.4	767.4
17071	21.8	1363.01	1096.6	881.6
9022	10.2	608.06	1468.5	566.0
9041	12.9	729.83	1001.3	600.3
9045	15.4	867.61	717.7	570.2
15039	14.1	792.66	909.2	610.8
17004	21.0	1288.05	1370.4	961.4
17003	22.2	1402.05	838.2	747.5

Estación	T, °C	L	P, mm/año	ET, mm/año
17005	21.0	1288.05	834.8	726.6
17014	23.0	1483.35	1027.6	874.8
17022	10.3	612.14	1545.0	573.0
17026	23.8	1569.06	873.1	793.8
17047	12.2	695.79	1659.5	646.5
17056	24.9	1694.41	851.4	793.1
17068	21.8	1363.01	1158.9	909.7
17072	24.0	1591.20	893.0	810.2
			$\overline{ET} =$	767.7

Donde:

T= Temperatura media anual

$$L = 300 + 25T + 0.005T^3$$

P= Precipitación media anual

ET= Evapotranspiración real

$\overline{ET}$  = Evapotranspiración media

Lo que equivale a:

$$ET = (\text{superficie cuenca})(\overline{ET})$$

$$ET = (1600.83 \text{ km}^2)(0.0007677 \text{ km}) = 1.23 \text{ km}^3/\text{año}$$

Se recomienda localizar todas las presas dentro de la cuenca y determinar el área del embalse de las mismas para no despreciar el valor de la evaporación en cuerpos de aguas como se hizo en este documento. Además que ya se encuentran en construcción dos presas con embalses considerables para dicho término.

La evapotranspiración media anual en la cuenca es de 767.7 mm, lo que equivale a 1.23 km<sup>3</sup>/año. Dentro de la cuenca, la evapotranspiración representa el 68.3% de la precipitación media anual, valor inferior a la media nacional que es del 73.1%

### Distribución de la evapotranspiración media

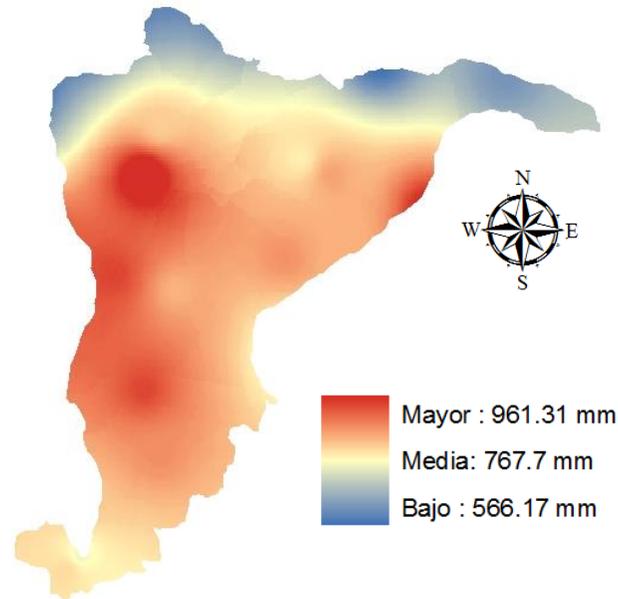


Figura 2. 13. Distribución de la evapotranspiración media por estación climatológica. Fuente: Elaboración propia con datos de las estaciones climatológicas aplicando el método de Turc (1990-2011)

### 2.1.9. Orografía

La cuenca del río Yautepec forma parte del eje Neovolcánico al norte, centro y sureste y de la Sierra Madre del Sur en el suroeste. A continuación se enlistan las principales elevaciones dentro de la misma:

Principales elevaciones en la Cuenca del río Yautepec	
Nombre	Altitud (msnm)
Volcán Tláloc	3690
Volcán Oclayuca	3 440
Cerro El Tezoyo	2600
Cerro Las Mariposas	2150
Cerro La Corona	1840

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

### 2.1.10. Tipo de suelo

Con base en datos vectoriales de tipo de suelo de INEGI, el tipo de suelo predominante en la cuenca es el Andosol con clave Th+I+Tm/2/L el cual cubre un 25.60 % del territorio de la cuenca, son suelos de origen volcánico constituidos principalmente por ceniza, con alto contenido de alófono lo cual le confiere ligereza, combinado con suelo húmico de superficie oscura y rica en materia orgánica, pero ácida y pobre en algunos nutrientes importantes para las plantas, también contiene suelo de piedra y suelo mólico que es fértil; le sigue el suelo Rendzina con clave E+Hc+Vp/3/L que cubre el 17.05 % de la superficie en la cuenca, estos suelos se presentan en clima semiárido, tropical o templado, tienen una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal.

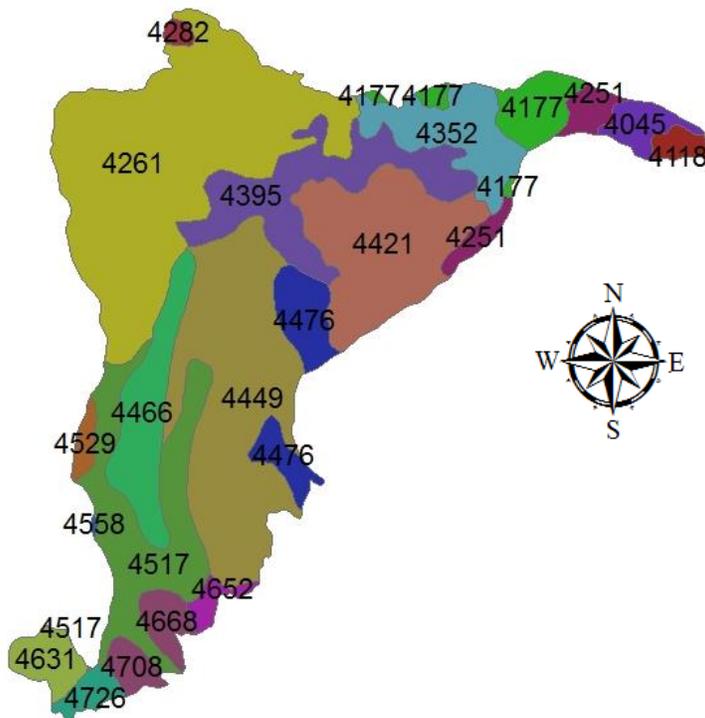


Figura 2. 14. Tipo de suelo dentro de la cuenca del Río Yautepec, Fuente: Elaboración propia con base a los datos vectoriales de tipo de suelo, INEGI

Clave Nacional	Clave tipo de suelo	Nombre de suelo	Composición
4352	To+Rc/2	Andosol	Ócrico, regosol, calcárico
4395	Hh+I+Tm/2/L	Feozem	Háplico, litosol, andosol, mólico
4449	E+Hc+Vp/3/L	Rendzina	Feozem, calcárico, Vertisol, pélico

Clave Nacional	Clave tipo de suelo	Nombre de suelo	Composición
4466	E+l+Hc/3/L	Rendzina	Litosol, Feozem, calcárico
4517	Vp+Hh/3	Vertisol	Pélico, feozem, háplico
4668	E+l/3/L	Rendzina	Litosol
4726	Rc+Hh/2/L	Regosol	Calcárico, feozem, háplico
4045	Be+Tm+l/2	Cambisol	Eútrico, andosol, mólico, litosol
4251	Re+To+Tm/1	Regosol	Eútrico, eputrico, andosol, mólico, litosol
4421	Hh+Be+Vp/2/D	Feozem	Háplico, cambisol, eútrico, vertisol y pélico
4261	Th+l+Tm/2/L	Andosol	Húmico, litosol, andosol y mólico
4476	Vp+Hh/3/P	Vertisol	Pélico, feozem, háplico
4118	Rd+l+Tm/1/L	Regosol	Dístrico, litosol, andosol, mólico
4177	Hh+To/2	Feozem	Háplico, andosol, ócrico
4282	Tm+Th/2/L	Andosol	Mólico, mólico, andosol, húmico
4517	Vp+Hh/3	Vertisol	Pélico, feozem, háplico
4529	Hc+Vp+E/2/L	Feozem	Calcárico, vertisol, pélico, rendzina
4558	Hc+Vp+Rc/2/L	Feozem	Calcárico, vertisol, pélico, regosol, calcárico
4652	Kh+Hc/2/L	Castañozem	Háplico, calcárico, feozem, calcárico
4708	E+l/3/L	Rendzina	Litosol
4631	Vp+Hh+Re/3/L	Vertisol	Pélico, feozem, háplico, regosol, eútrico

## 2.2. Agua subterránea

El estado de Morelos cuenta con cuatro acuíferos: el acuífero de Cuernavaca, el de Zacatepec, el de Cuautla-Yautepec y el de Tepalcingo-Axochiapan. La cuenca del río Yautepec forma parte del acuífero de Cuautla-Yautepec, el cual se muestra en la figura siguiente:

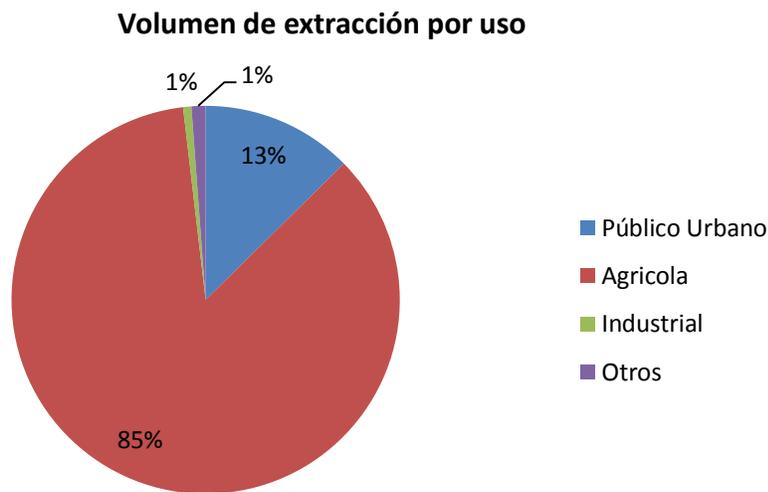


Figura 2. 15. Acuíferos en el estado de Morelos. Fuente: Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010

En el capítulo 3 se muestra el balance hídrico y la disponibilidad del agua subterránea.

### 2.3. Características socioeconómicas de la cuenca

#### 2.3.1. Principales usos del agua



Como se muestra en la gráfica anterior el principal uso del agua en la cuenca del Río Yautepec es el uso agrícola, en el cual se utiliza un 85% del agua superficial y subterránea extraída en la cuenca, seguido por el uso público urbano con un 13 %; el uso industrial no es muy relevante con tan solo el 1 % del uso de agua en la cuenca.

### 2.3.2. Población

La cuenca del río Yautepec está integrada por 24 municipios, de los cuales la superficie territorial de Tlalnepantla, Tlayacapan y Totolapan de estado de Morelos y Tepetlixpa del Estado de México se encuentra totalmente dentro de la cuenca; el resto solamente cuenta con cierto porcentaje dentro de la misma. Debido a lo anterior, se ha hecho un análisis por municipio para contabilizar las localidades que se encuentran dentro de la cuenca (460 localidades), y así obtener la respectiva población de la cuenca.

En la tabla siguiente se muestra la población total dentro de la cuenca por municipio:

<b><i>Población total dentro de la cuenca</i></b>			
	Estado	Municipio	Población 2010
1	Edo. de México	Amecameca	4,767
2	Edo. de México	Atlautla	8,728
3	Edo. de México	Juchitepec	23,124
4	Edo. de México	Ozumba	22,835
5	Edo. de México	Tepetlixpa	18,324
6	Morelos	Atlatlahucan	16,940
7	Morelos	Ayala	21,358
8	Morelos	Cuautla	1,856
9	Morelos	Cuernavaca	9,820
10	Morelos	Emiliano Zapata	5,520
11	Morelos	Huitzilac	2,089
12	Morelos	Jiutepec	28,190
13	Morelos	Jojutla	23,840
14	Morelos	Tepoztlán	40,305
15	Morelos	Tlalnepantla	6,636
16	Morelos	Tlaltizapán	28,963

<b>Población total dentro de la cuenca</b>			
	Estado	Municipio	Población 2010
<b>17</b>	Morelos	Tlaquiltenango	22,434
<b>18</b>	Morelos	Tlayacapan	16,543
<b>19</b>	Morelos	Totolapan	10,789
<b>20</b>	Morelos	Xochitepec	325
<b>21</b>	Morelos	Yautepec	95,558
<b>22</b>	Morelos	Zacatepec de Hidalgo	228
<b>Total</b>			<b>409,172</b>

Fuente: Organismo de Cuenca Balsas, Censo de Población y Vivienda 2010 INEGI

Nota: Los municipios que no aportan población para la cuenca se omitieron en la tabla

Para determinar la dotación para la demanda de agua se utilizó el documento “Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas del IMTA.”

<b>Población con agua entubada número de habitantes</b>	<b>Dotación en litros/habitante/día</b>		
	Clima cálido	Clima Templado	Clima Frío
<b>De 2,500 a menos</b>	125	100	75
<b>De 2,500 a 15,000</b>	175	150	125
<b>De 15,000 a 30,000</b>	200	175	150
<b>De 30,000 a 70,000</b>	225	200	175
<b>De 70,000 a 150,000</b>	275	250	225
<b>De 150,000 a 500,000</b>	350	300	250
<b>De 500,000 o más</b>	400	350	300
<b>Habitantes con servicio de hidrante público</b>		60 litros/habitante/día	
<b>Habitantes con otro tipo de servicios (pipas, acarreo, manual, etc)</b>		40 litros/habitante/día	

Tabla. Dotaciones para estimación de los volúmenes del uso doméstico.

Fuente: Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas del IMTA

Con base en el clima presentado en cada localidad y la cantidad de habitantes se determinó la dotación por municipio para la cuenca del río Yautepec, teniendo como resultado:

Municipio	Estado	Demanda de agua potable (lt/hab/día)
Amecameca	Edo. de México	605,050
Atlautla	Edo. de México	1,194,425
Juchitepec	Edo. de México	3,808,125
Ozumba	Edo. de México	3,730,325
Tepetlixpa	Edo. de México	2,478,125
Atlatlahucan	Morelos	2,634,075
Ayala	Morelos	3,709,125
Cuautla	Morelos	228,625
Cuernavaca	Morelos	1,354,300
Emiliano Zapata	Morelos	802,750
Huitzilac	Morelos	243,875
Jiutepec	Morelos	4,522,900
Jojutla	Morelos	3,914,675
Tepoztlán	Morelos	5,928,700
Tlalnepantla	Morelos	850,700
Tlaltizapán	Morelos	4,449,050
Tlaquiltenango	Morelos	4,161,650
Tlayacapan	Morelos	2,450,475
Totolapan	Morelos	1,563,200
Xochitepec	Morelos	39,750
Yautepec	Morelos	17,918,225
Zacatepec de Hidalgo	Morelos	28,500
Total:		<b>66,616,625</b>

Lo que equivale a 66,616.63 m<sup>3</sup> por habitante por día, es decir, **24.32 hm<sup>3</sup>/año**

El dato anterior es una aproximación que puede ser determinada a más detalle calculándola por alguno de los siguientes métodos:

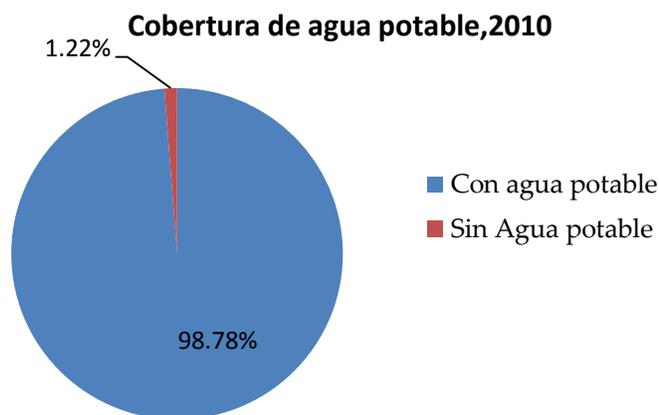
- Utilizar los consumos con base a histogramas, de preferencia de un año, de los registros de los organismos operadores dentro de la cuenca.
- Realizar un estudio detallado de la dotación del agua para uso público urbano.

La demanda anual de agua para uso público urbano de 24.32 hm<sup>3</sup>; no obstante, de acuerdo a lo publicado en el Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos, en la cuenca se tiene un volumen de extracción para este uso de 44.1 hm<sup>3</sup> por año, valor superior a la demanda obtenida previamente, lo que indica sobreasignación del agua potable.

Volumen de extracción por tipo de uso hm <sup>3</sup>					
	Público Urbano	Agrícola	Industrial	Otros	Total
Superficial	8.7	278.0	0.0	2.9	289.6
Subterránea	35.4	21.0	2.4	1.2	60
Total	44.1	299.0	2.4	4.1	349.6

### Cobertura de agua potable

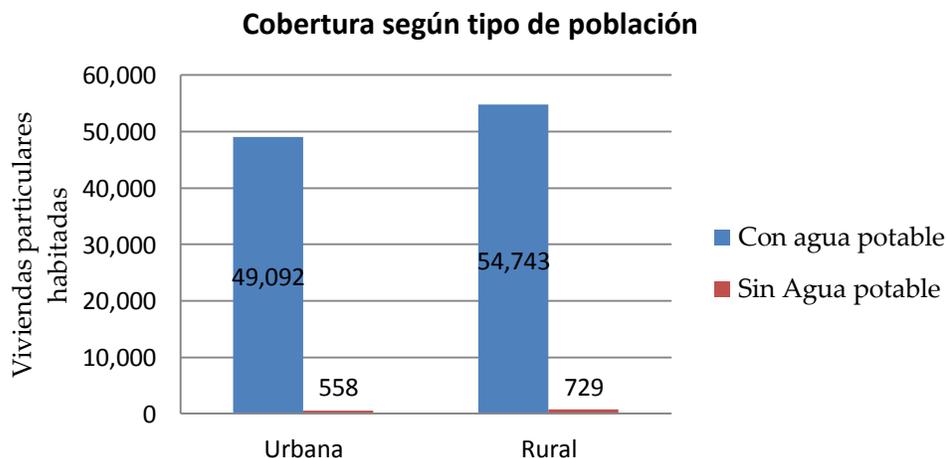
En la cuenca se tiene, de acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, la siguiente cobertura de agua potable en la cuenca:



Lo que indica una amplia cobertura del servicio que, al desglosarla de acuerdo al tipo de población (rural y urbana) se tiene el mismo comportamiento:

### Cobertura de agua potable en la cuenca (%)

Urbana	Rural	Total
98.88	98.69	98.78

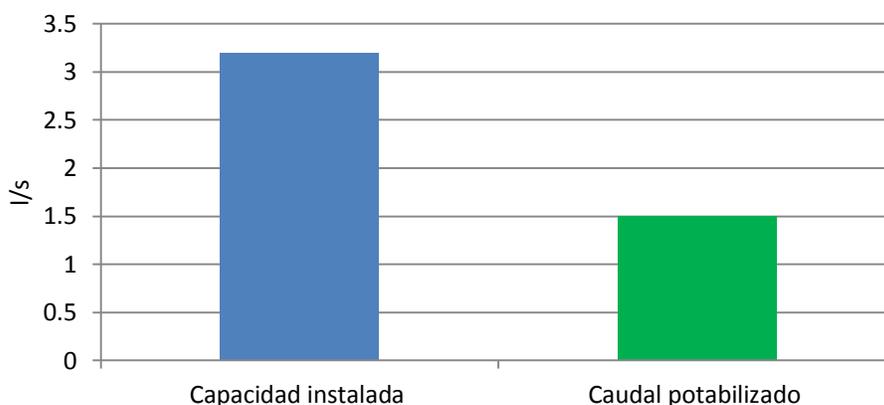


De acuerdo con lo publicado en el Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2011, en la cuenca del río Yautepec se cuentan con 2 plantas potabilizadoras en operación registradas cuyas características son las siguientes:

<b>Planta potabilizadoras municipales en operación en la cuenca del Río Yautepec, diciembre 2011</b>				
<b>Nombre de la planta</b>	<b>Proceso</b>	<b>Capacidad instalada (l/s)</b>	<b>Caudal potabilizado (l/s)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Santo Domingo</b>	Clarificación de patente	2.7	1	Sistema de captación de agua pluvial
<b>Felipe Neri</b>	Clarificación de patente	0.5	0.5	Inicio de operación en 2010. Sistema de captación de agua pluvial
<b>Total</b>		<b>3.2</b>	<b>1.5</b>	

Fuente: Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2011

### **Situación de plantas potabilizadoras en la cuenca del río Yautepec**

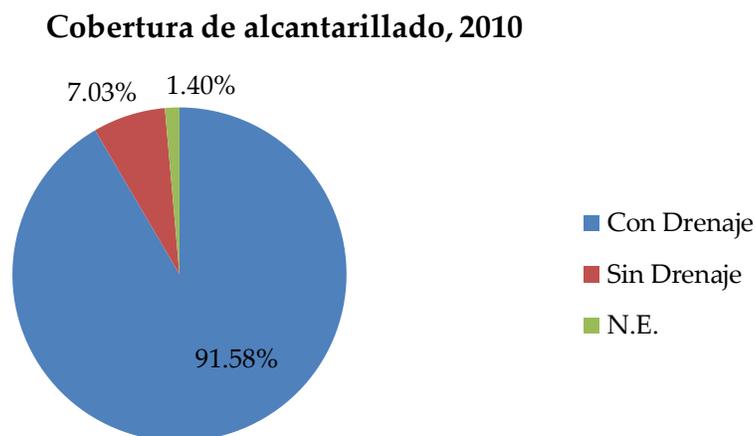


#### **2.3.3. Cobertura de agua potable**

De acuerdo a los datos publicados en el Censo de Población y Vivienda, 2010 del INEGI, dentro de la cuenca se tiene la siguiente cobertura de alcantarillado:

<b>Cobertura de alcantarillado en la cuenca (%)</b>		
<b>Urbana</b>	<b>Rural</b>	<b>Total</b>
93.71	89.66	91.58

Que para el total de la cuenca se desglosa en la siguiente gráfica:



De acuerdo a lo anterior, en la cuenca se tiene una cobertura de alcantarillado de 91.58%, lo que indica una amplia cobertura del servicio; sin embargo, dentro de los registros del INEGI, se toman en cuenta como disposición de agua potable a las viviendas que tengan alguna tubería aunque ésta conecte a una barranca, grieta, río, mar o lago sin tratamiento previo.

#### 2.3.4. Plantas tratadoras de aguas residuales

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, las aguas residuales son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.

De acuerdo con el Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2011, en la cuenca del Río Yautepec se cuenta con 5 plantas de tratamiento operando, con una capacidad instalada de 201.2 l/s del cual se tratan 47.2 l/s. Lo anterior muestra un alto grado de deficiencia en el tratamiento de las aguas residuales, ya que de acuerdo con el Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010, dentro de la cuenca se generan 703 l/s.

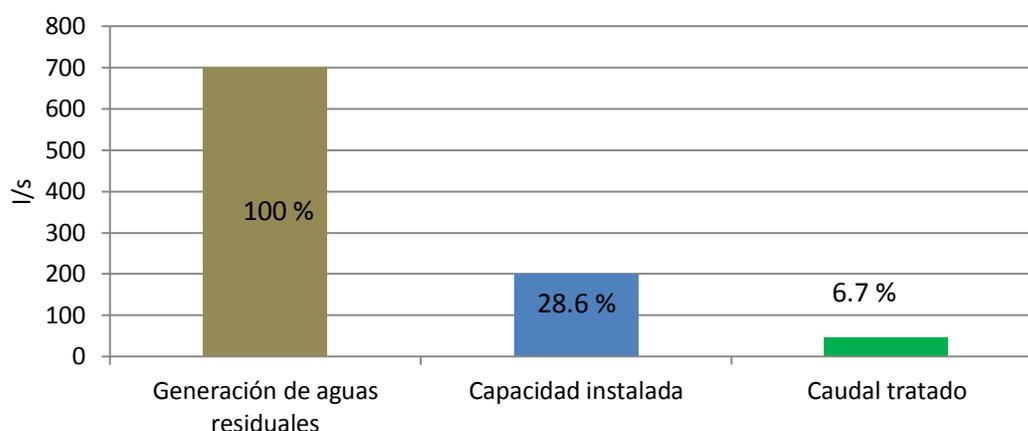
**Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación en la cuenca del río Yautepec, 2009**

No	Nombre	Municipio	Tipo de tratamiento	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor

1	Atlacahucan	Atlacahucan	Lodos Activados	20	15	Barranca el Salto
2	Lomas de Cocoyoc	Atlacahucan	Discos Biológicos o Biodiscos	7	6	Río Yautepec
3	Fracc. Paseos de Ayala	Ayala	Fosa Séptica	7	4	Río Papayos
4	Rinconada Acolapa	Tepoztlan	Lodos Activados	7.2	7.2	Laguna Acolapa
5	Yautepec	Yautepec	Discos Biológicos o Biodiscos	160	15	Río Yautepec
<b>Total</b>				<b>201.2</b>	<b>47.2</b>	

Fuente: Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2011

### Situación de aguas residuales en la cuenca del Río Yautepec



La Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

#### 2.3.5. Calidad del agua superficial

En el presente trabajo se usaron los indicadores para evaluar la calidad del agua avalados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA): Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO); los cuales se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de agua residual

de origen municipal y no municipal. La primera determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la segunda mide la cantidad total de materia orgánica.<sup>10</sup>

Los criterios que conforman la escala de clasificación de calidad del agua, en función a su concentración, se muestran a continuación:

criterio (mg/l)	Clasificación	Color
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
<b>DBO ≤ 3</b> <b>DQO ≤ 10</b>	<b>EXCELENTE</b> No contaminada	<b>Azul</b>
<b>3 &lt; DBO ≤ 6</b> <b>10 &lt; DQO ≤ 20</b>	<b>BUENA CALIDAD</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.	<b>VERDE</b>
<b>6 &lt; DBO ≤ 30</b> <b>20 &lt; DQO ≤ 40</b>	<b>ACEPTABLE</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	<b>AMARILLO</b>
<b>30 &lt; DBO ≤ 120</b> <b>40 &lt; DQO ≤ 200</b>	<b>CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	<b>NARANJA</b>
<b>DBO &gt; 120</b> <b>DQO &gt; 200</b>	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	<b>ROJO</b>

En las figuras siguientes se muestra la calidad del agua con los criterios mencionados para la cuenca del Río Yautepec:

*Indicador DBO para la cuenca del Río Yautepec.*

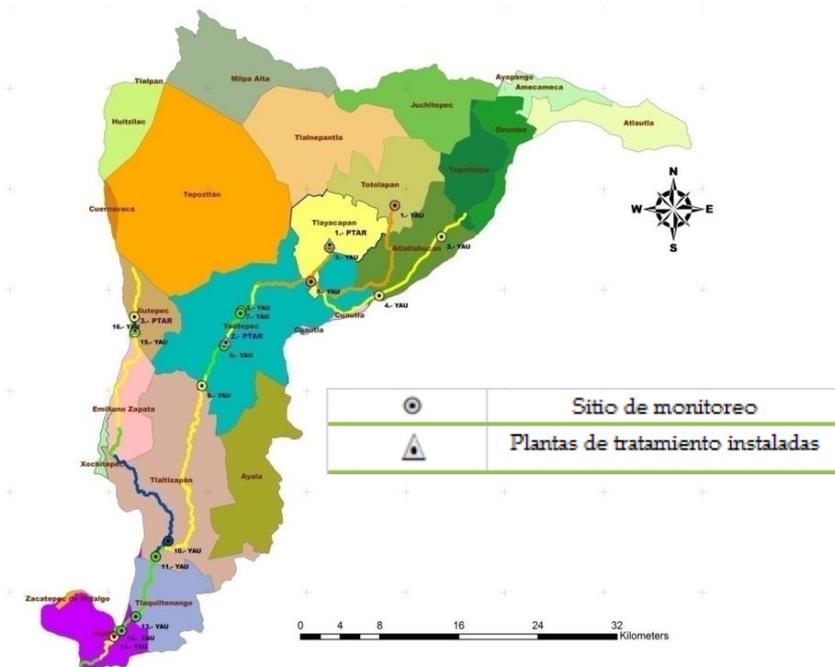


Figura 2. 16. Calidad del agua en la Cuenca del Río Yautepec. Indicador: Demanda Bioquímica de Oxígeno (Presencia de materia orgánica) Agosto de 2011. Fuente: Organismo de Cuenca del Río Balsas

<sup>10</sup> Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático, IMTA.



se debe realizar un estudio para determinar la razón de la contaminación del agua en dichos municipios.

### 2.3.6. Uso de suelo

A continuación se muestra el uso de suelo general dentro de la cuenca:

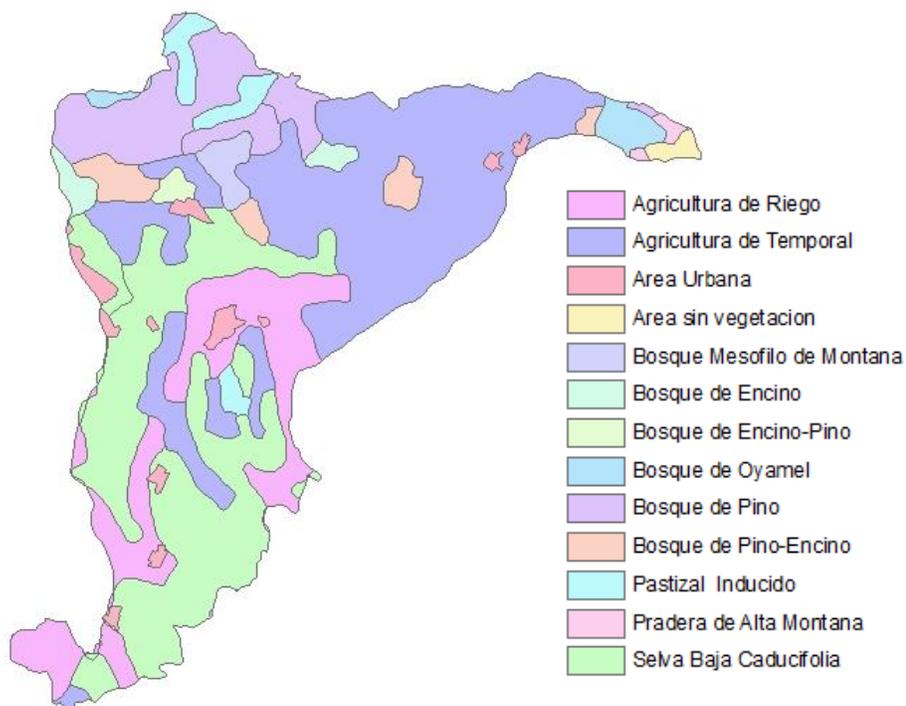


Figura 2. 18 .Uso de suelo y vegetación en la cuenca del Río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con mapas vectoriales de uso de suelo y vegetación, INEGI.

### 2.3.7. Sector agrícola

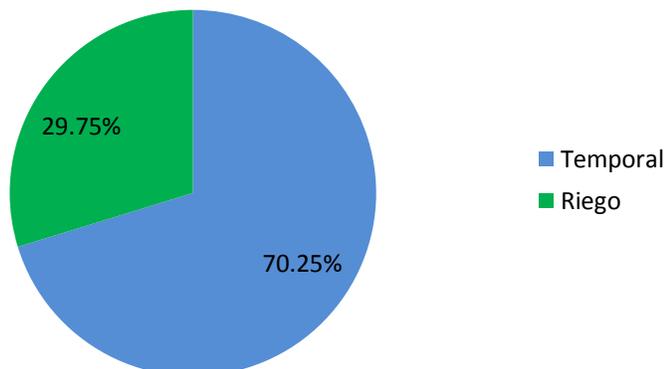
Como puede observarse en la figura 2.18, el uso de suelo predominante en la cuenca del río Yautepec es el agrícola, el cual representa el 48.37 % del territorio, aunque en ella también se ubican la mayoría de los principales centros recreativos.

Las superficies de agricultura dentro de la cuenca se dividen como se muestra a continuación:

Superficie de agricultura según tipo (km <sup>2</sup> )		
Temporal	Riego	Total
543.91	230.38	774.29

Por lo que en la cuenca del Río Yautepec se cuenta con una superficie destinada a la agricultura de 774.29 km<sup>2</sup>, los cuales a su vez se subdividen en temporal y riego con el siguiente porcentaje:

### Superficie de agricultura



### Zonas de agricultura de riego y temporal en la cuenca del Río Yautepec

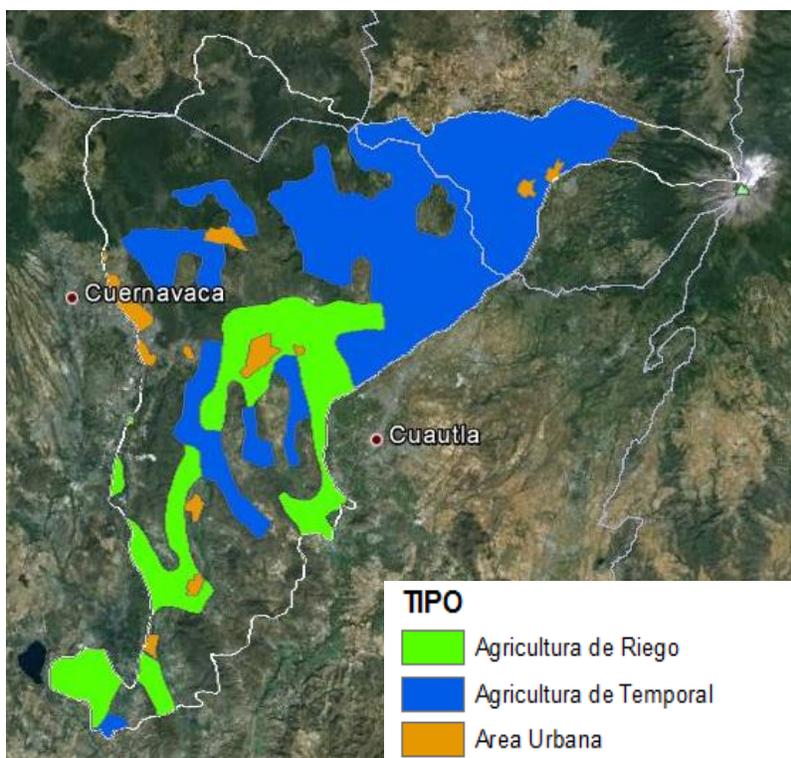


Figura 2. 19. Uso de suelo de la cuenca del río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con cartografía de uso de suelo y vegetación del INEGI.

El distrito de riego 016 Estado de Morelos, Morelos, tiene una superficie para siembra de 28,858 ha de las cuales el 40.66 % se encuentran dentro de la cuenca

del Río Yautepec (11,734 ha); la distribución de los módulos de dicho distrito de riego dentro de la cuenca se muestra a continuación:

<b>Distribución del D.R 016 dentro de la cuenca del Río Yautepec</b>		
<b>Modulo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje del módulo dentro de la cuenca</b>
Alto Yautepec	2,291	100.00
Bajo Apatlaco	5,439	51.53
Bajo Yautepec	1,530	100.00
Cuautla	1,128	11.04
Las Fuentes	1,346	31.55
<b>Total</b>	<b>11,734</b>	<b>40.66</b>

Fuente: Elaboración propia con shapefiles proporcionado por la Comisión Estatal del Agua, 2013.

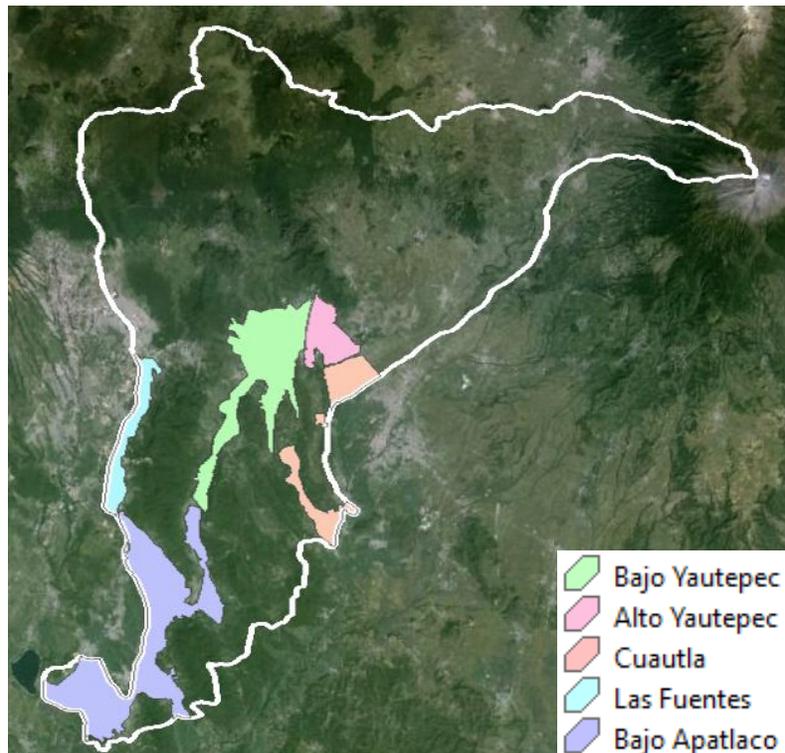


Figura 2. 20. Módulos del Distrito de riego de la cuenca del Río Yautepec. Fuente: Elaboración propia con shapefiles proporcionado por la Comisión Estatal del Agua, 2013.

Tipos de cultivo y superficie de siembra en el D.R. 016	
Cultivo	Superficie sembrada y cosechada (ha)
Calabacita	353
Cebolla	753
Ejote	979
Frijol (alubia)	173
Gladiola	197
Jitomate	64
Maíz grano	2061
Okra	32
Otras Hortalizas	225
Otros Cultivos	950
Pepino	197
Tomate de cáscara (tomatillo)	130
Arroz	873

Tipos de cultivo y superficie de siembra en el D.R. 016	
Cultivo	Superficie sembrada y cosechada (ha)
Jicama	337
Sorgo grano	81
Aguacate	55
Alfalfa verde	47
Caña de azúcar	12701
Limón	36
Mango	126
Otros Forrajes Verde	25
Otros frutales	294
Papayo	10
Rosal	313
Cacahuete	1
<b>Total</b>	<b>21,013</b>

Los datos mostrados en la tabla anterior son los cultivos en todo el distrito de riego 016, ya que no se tiene un registro de los cultivos del D.R. 016 que se encuentran dentro de la cuenca, se hizo una ponderación para determinar el volumen de agua requerido para los cultivos:

Volumen distribuido (miles de metros cúbicos)						
	%	Gravedad Derivación	Bombeo corriente	Bombeo pozos	Total	Lamina bruta media (cm)
<b>D.R. 016</b>	100	384,608.0 0	0.00	0.00	384,608.0 0	196.00
<b>Cuenca del Rio Yautepec</b>	40.66	156,387.7 3	0.00	0.00	156,387.7 3	79.70

Fuente: Elaboración propia con datos de las "Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, Año agrícola 2009-2010", Comisión Nacional del Agua, 2011

Lo que indica que para las 11,734 ha de la superficie de siembra que se encuentran dentro del Distrito de Riego 016 y que forma parte de la cuenca del

Río Yautepec, se distribuyen 156.39 hm<sup>3</sup> por año; sin embargo, no se cuenta con los datos del volumen distribuido para la superficie de agricultura restante dentro de la cuenca, debido a que éstas están en unidades de riego y no se tienen registros publicados de los mismos, no obstante, se puede deducir que el tipo de cultivo dentro de las unidades de riego es el mismo que los cultivos del distrito de riego, para así hacer una estimación del volumen de agua utilizado dentro de los 241.43 km<sup>2</sup> de las unidades de riego, dando un volumen distribuido dentro de las mismas de aproximadamente 354.73 hm<sup>3</sup> por año.

<b>Volumen necesario para uso agrícola en la Cuenca del rio Yautepec (hm<sup>3</sup>)</b>	
<b>D.R.016</b>	156.39
<b>Unidades de riego</b>	354.73
<b>Total</b>	511.12

Cabe mencionar que dicho valor es el volumen distribuido, el cual se obtiene del agua superficial, agua subterránea o de las precipitaciones en temporal. En el cuadro siguiente se muestra el volumen de extracción correspondiente al D.R 016 y a las unidades de riego dentro de la cuenca:

<b>Volumen de extracción para uso agrícola (hm<sup>3</sup>)</b>	
	<b>Volumen concesionado</b>
<b>D.R.016</b>	156.39
<b>Unidades de riego</b>	142.63
<b>Total</b>	299.02

\* Volumen de extracción de agua subterránea y superficial. Fuente: Elaboración propia con datos del Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010.

Lo que indica que 212.10 hm<sup>3</sup> del volumen necesario para la agricultura se obtiene de temporal.

### 2.3.8. Sector industrial

Con base en los datos publicados en los censos económicos 2009 del INEGI, se hizo una ponderación de las unidades económicas para determinar el número de industrias dentro de la cuenca como se muestra a continuación:

Estado	Municipio	Unidades económicas (manufacturas, comercio y servicios)		
		Total municipal	% municipal en la cuenca	Total en la cuenca
Edo. de México	Amecameca	1684	15.43	260
Edo. de México	Atlautla	709	32.14	228
Edo. de México	Juchitepec	898	42.40	381
Edo. de México	Ozumba	1173	71.35	837
Edo. de México	Tepetlixpa	594	100.00	594
Morelos	Atlatlahucan	37	85.69	32
Morelos	Ayala	182	31.26	57
Morelos	Cuautla	837	23.54	197
Morelos	Cuernavaca	1696	6.98	118
Morelos	Emiliano Zapata	422	59.46	251
Morelos	Huitzilac	80	30.24	24
Morelos	Jiutepec	869	61.95	538
Morelos	Jojutla	293	33.32	98
Morelos	Tepoztlán	167	100.00	167
Morelos	Tlalnepantla	17	100.00	17
Morelos	Tlaltizapán	191	70.20	134
Morelos	Tlaquiltenango	97	9.91	10
Morelos	Tlayacapan	92	100.00	92
Morelos	Totolapan	42	100.00	42
Morelos	Xochitepec	245	3.15	8
Morelos	Yautepec	484	100.00	484
Morelos	Zacatepec de Hidalgo	175	6.75	12
			Total	4,581

Fuente: censos económicos 2009, INEGI

Al no tener datos del volumen de agua utilizado por el sector industrial, se hizo una estimación con base en los valores de volumen extraído para los diferentes usos publicados en el Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010, dando como resultado lo siguiente:

Uso	Volumen Extraído hm <sup>3</sup>	Porcentaje
Público	44.09	12.6
Agrícola	299.02	85.5
Industrial	2.40	0.7
Servicios y múltiples	4.10	1.2
<b>Total</b>	<b>349.60</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia con datos del Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010.

Por lo que se tiene un volumen extraído para el uso industrial de 2.4 hm<sup>3</sup> por año, lo que representa el 0.7 % del volumen extraído dentro de la cuenca.

#### 2.4. Amenazas climáticas y socioeconómicas

De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), se define como evento climático extremo a un evento raro dentro de las estadísticas del lugar y en un instante en un año. Estos pueden ser: inundaciones, sequías, heladas, entre otros.

En el caso de la cuenca del río Yautepec, un evento climático extremo que ha causado daños a la población es el desbordamiento del río Yautepec, provocando inundaciones en ciertas localidades.



Figura 2. 21. Fotografía, Yautepec, 25 de agosto de 2010 declarado como zona de desastre natural junto con los municipios de Tlaltizapán y Tlalquitenango

Para el estudio de la gestión integrada del agua se tienen que tomar en consideración los eventos climáticos extremos de inundaciones y sequías, para así tener un mejor aprovechamiento del recurso.

Actualmente, el tema de sequías no ha sido un problema en la cuenca del río Yautepec, por lo que no se realizará un análisis de dicho tema en el presente documento; no obstante, es recomendable hacer un análisis del historial y pronóstico de sequías en la cuenca.

#### **2.4.1. Inundaciones**

La urbanización tiene efectos indirectos como son la invasión de cauces naturales, planicies de inundación y deforestación de cuencas. En el caso del río Yautepec se presentan daños en las zonas urbanas de los municipios de Tlaltizapan, Tlaquiltenango y Yautepec, Morelos.

Las condiciones fisiográficas de la cuenca del río Yautepec, particularmente en la zona comprendida por el municipio de Yautepec, la invasión de zonas federales y la obstrucción y azolvamiento de obras hidráulicas, son algunos de los factores que provocan que la región sea particularmente vulnerable a la presencia de inundaciones.

En la cuenca del río Yautepec se presentan inundaciones fluviales (ribereñas), cuando el agua se desborda de los ríos y ésta se queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. La causa de las inundaciones no sólo tiene el componente natural, sino que se incrementa y potencializa con el componente antropogénico.

Las consecuencias de las inundaciones o desbordes son más graves para quienes habitan en las zonas de protección federal de los ríos, barrancas y arroyos, y a pesar de las advertencias de las autoridades, dichas zonas continúan siendo invadidas.

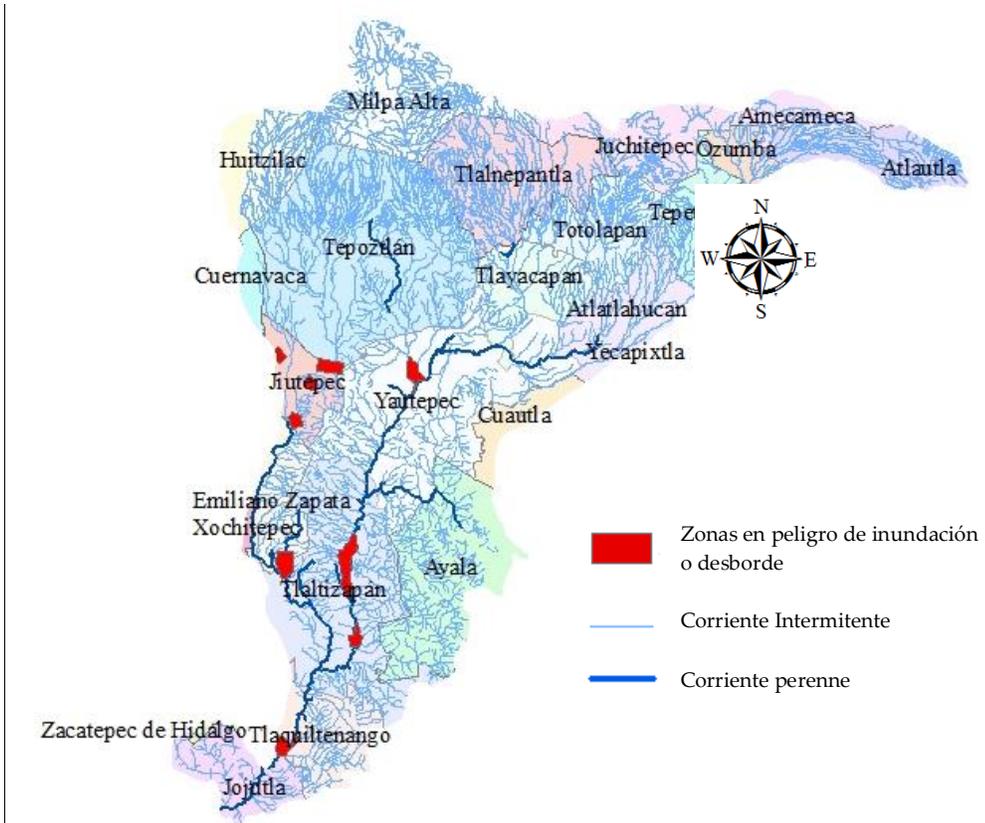


Figura 2. 22. Zonas dentro de la cuenca del río Yautepec en peligro de inundaciones o desbordes. Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Estatal del Agua de Morelos

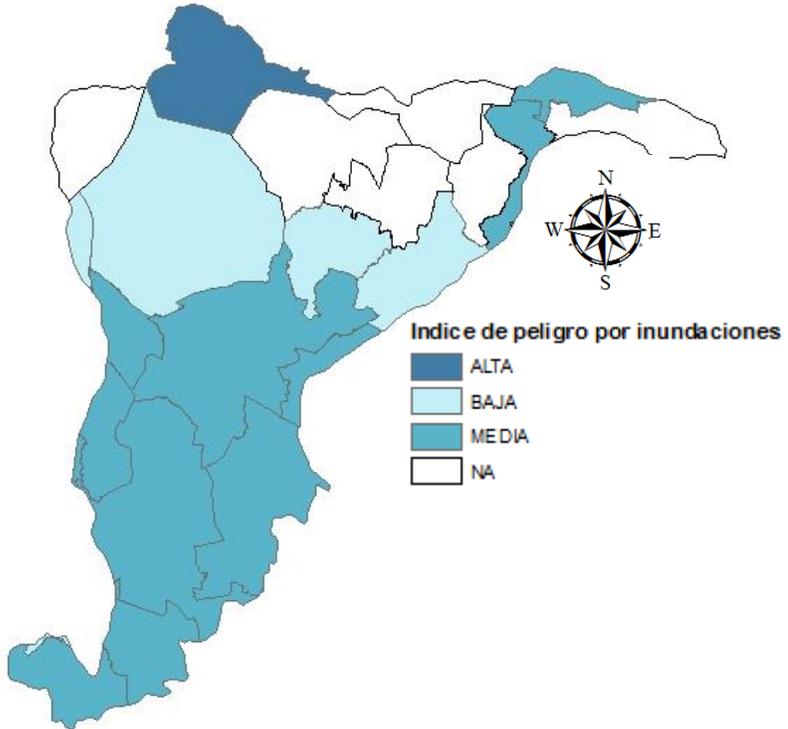


Figura 2. 23. Índice de peligro por inundaciones por municipio. Fuente: Elaboración propia con datos de la GENAPRED.

## Número de declaratorias de desastres en el periodo 2000-2011

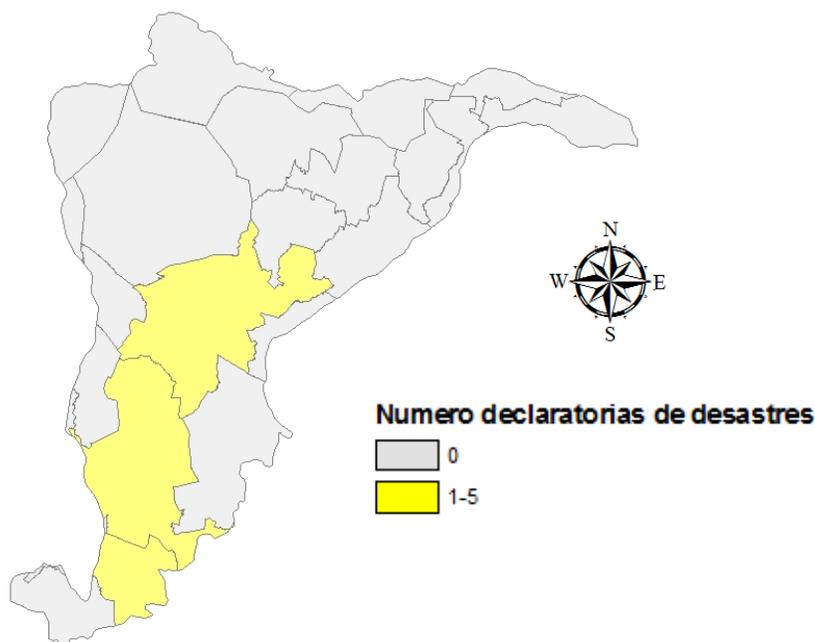


Figura 2. 24. Número de declaratorias de desastres. Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Nacional de Prevención de Desastres Naturales (CENAPRED). Muestra a los municipios que han sido afectados por algún fenómeno de origen natural y han requerido de apoyos por parte del FONDEN o CADENA

Como se puede observar, dentro de la cuenca se tiene un índice de peligro ante inundaciones en su mayoría medio, lo que indica asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o aguas debajo de presas y bordos presentando daños moderados y sin decesos.

### Antecedentes históricos

Registros de desbordamiento de las aguas del río Yautepec en el municipio de Yautepec, Morelos		
Fecha	Municipio	Descripción
25 de agosto de 1985	Yautepec	La creciente del río subió a 1.65 m, provocando varias inundaciones en la zona urbana y pérdidas materiales.
21 de agosto de 1995	Yautepec	Lluvia extraordinaria alcanzando una avenida con caudal máximo de 231 m <sup>3</sup> /s
28 de septiembre	Yautepec	Un desbordamiento provocó daños materiales en la zona centro de Yautepec.

**Registros de desbordamiento de las aguas del río Yautepec en el municipio de Yautepec, Morelos**

Fecha	Municipio	Descripción
de 1998		
1998	Tlaltizapan	Daños importantes en los balnearios " Las Estacas" y "Santa Isabel"
1998	Tlalquiltenango y Jojutla	Daños en zonas marginales.
28 de septiembre de 2003	Yautepec	Creciente del río Yautepec provocó inundaciones de algunas zonas urbanas cercanas al centro y a la Barranca Apanquetzalco.
25 Agosto de 2010	Tlayacapan	Se desbordan la barranca La Moroma y Nacatongo causando daños a las calles Rosario, Nacatongo, Centro y 5 de febrero. Declarado en emergencia en el DOF
17 de agosto de 2010	Yautepec	Una creciente de 1.10 m provocó inundaciones en la zona urbana de Yautepec dejando pérdidas materiales.
25 de agosto de 2010	Yautepec	Se registraron lluvias extraordinarias en la parte alta de la cuenca del río Yautepec, se presentó una creciente de 2.40 m provocando daños a la infraestructura hidráulica y pérdidas materiales en la zona urbana. Declarado en emergencia en el DOF
25 de agosto de 2010	Tlaquiltenango	Declarado en emergencia en el DOF por la ocurrencia de inundación fluvial.

Tabla. Registros de desbordamiento de las aguas en la Cuenca del río

Fuente: Plan operativo de inundación de la ciudad de Yautepec, Morelos, Organismo de Cuenca Balsas, Agosto de 2011. "De Cuautla Interdiario" artículo: "Desazolvan barrancas de Tlayacapan; evitarán inundaciones. Diario Oficial de la Federación, diversas fechas. Atlas de Riesgos Naturales de Yautepec, Morelos 2011

## **Medidas aplicadas a la prevención de inundaciones.**

Con información del Organismo de Cuenca Balsas, Subdirección de Aguas Superficiales, CONAGUA<sup>11</sup>, se tiene que las medidas que se han aplicado son principalmente de carácter preventivo, reactivo y estructural. Dentro de las primeras se encuentran:

- ◆ Limpieza y desazolves de cauces
- ◆ Detección de invasiones a cauce y zona federal
- ◆ Elaboración del Plan Operativo Contra Inundaciones
- ◆ Monitoreo de los niveles del río en las estaciones hidrométricas
- ◆ Registro de los principales parámetros climatológicos en las estaciones localizadas en la cuenca
- ◆ Estudios topográficos, hidrológicos e hidráulicos en diferentes tramos del cauce
- ◆ Reconstrucción de obras afectadas por las avenidas máximas extraordinarias, entre otras.
- ◆ Instalación de la Comisión de Cuenca del Río Yautepec con el propósito de fomentar la participación coordinada de los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal, usuarios y sociedad organizada, para el rescate hidrológico y equilibrio ambiental en la región.

Dentro de las medidas de carácter reactivo se encuentran:

- ◆ Registro de la evolución de los niveles del río
- ◆ Evaluación de daños a infraestructura hidráulica
- ◆ Estudios de campo y gabinete para evaluar cambios en el funcionamiento del cauce
- ◆ Saneamiento de las zonas inundadas
- ◆ Reconstrucción de obras para evitar daños mayores

En lo que se refiere a las medidas estructurales destacan:

- ◆ Reconstrucción de un muro de gaviones en una longitud de 400 m, localizado en el centro de la zona urbana de la cabecera municipal de Yautepec, Morelos

---

<sup>11</sup> Oficinas en Nueva Bélgica Esq. Pedro de Alvarado s/n, Col. Reforma Norte, Cuernavaca, Morelos

- ◆ Construcción de un muro de gavión en el río Yautepec, a la altura de la colonia Jacarandas
- ◆ Construcción de gaviones por ambas márgenes del río a la altura del libramiento Ticuman Tlaltizapan
- ◆ Elaboración de proyectos ejecutivos de tres presas rompepicos que se encuentran en el proceso de construcción: Presa Tlayacapan, Presa Cocoyoc y Presa Morelos I
- ◆ Programa anual de limpieza y desazolves de ríos, a cargo del gobierno del estado de Morelos

## **Capítulo III**

### **“Disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Yautepec”**

### 3.1. Balance de agua superficial

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 la disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica se debe determinar en el cauce principal de la salida de la cuenca, mediante la expresión:

$$\begin{array}{l} \textit{Disponibilidad media} \\ \textit{anual de agua superficial} \\ \textit{en la cuenca hidrológica} \end{array} = \begin{array}{l} \textit{Volumen medio anual de} \\ \textit{escurrimiento de la} \\ \textit{cuenca hacia aguas} \\ \textit{abajo} \end{array} - \begin{array}{l} \textit{Volumen actual} \\ \textit{comprometido} \\ \textit{aguas abajo} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \textit{Disponibilidad media} \\ \textit{anual de agua} \\ \textit{superficial en la cuenca} \\ \textit{hidrológica} \end{array} = 58.00 \text{ hm}^3 - 58.00 \text{ hm}^3 = 0$$

El escurrimiento de la cuenca es el volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica; es decir, agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

#### 3.1.1. Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo

De la norma NOM-011-CNA-2000, el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo se determina mediante la siguiente expresión:

$$\begin{array}{l} \textit{Volumen medio anual} \\ \textit{de escurrimiento de la} \\ \textit{cuenca hacia aguas} \\ \textit{abajo} \end{array} = \begin{array}{l} \textit{Volumen medio} \\ \textit{anual de} \\ \textit{escurrimiento} \\ \textit{natural} \end{array} + \begin{array}{l} \textit{Volumen anual} \\ \textit{de retornos} \end{array} - \begin{array}{l} \textit{Volumen anual de} \\ \textit{exportaciones} \end{array} - \begin{array}{l} \textit{Volumen anual} \\ \textit{de extracción de} \\ \textit{agua superficial} \end{array}$$

$$\begin{aligned} & \text{Volumen medio anual} \\ & \text{de escurrimiento de la} \\ & \text{cuenca hacia aguas} \\ & \text{abajo} \end{aligned} = 276.93 \text{ hm}^3 + 70.67 \text{ hm}^3 - 289.6 \text{ hm}^3 = 58.00 \text{ hm}^3$$

### 3.1.1.1. Volumen medio anual de escurrimiento natural

Para el cálculo del volumen medio anual de escurrimiento natural se debe determinar el método a utilizar: directo o indirecto; para ello, se analizan las estaciones hidrométricas en la cuenca del Río Yautepec, las cuales se muestran en la figura 3.1. Como se puede observar, no hay estaciones hidrométricas a la salida de la cuenca por lo que no se cuenta con la información hidrométrica suficiente para la aplicación del método directo; por lo tanto, se debe utilizar un método indirecto para la determinación del volumen medio anual de escurrimiento natural, cuya fórmula es:

$$\begin{aligned} & \text{Volumen anual de} \\ & \text{escurrimiento natural} \\ & \text{de la cuenca (Cp)} \end{aligned} = \begin{aligned} & \text{Precipitación} \\ & \text{media anual de la} \\ & \text{cuenca} \end{aligned} \times \begin{aligned} & \text{Área de} \\ & \text{la} \\ & \text{cuenca} \end{aligned} \times \begin{aligned} & \text{Coeficiente de} \\ & \text{escurrimiento} \end{aligned}$$

- Precipitación media anual de la cuenca: Ésta se determina mediante el método de los polígonos de Thiessen o Isoyetas. Para el caso de la cuenca del río Yautepec, este cálculo se desarrolla en el anexo 4 dando como resultado una precipitación media de 1124.5 mm.

A su vez se desglosa por año (1990-2011) como sigue:

Precipitación media anual	
Año	Pa(mm)
1990	1,262.7
1991	1,085.3
1992	1,116.5
1993	1,005.7
1994	846.4
1995	1,235.5
1996	997.1
1997	996.5

Precipitación media anual	
Año	Pa(mm)
1998	1,214.1
1999	1,118.0
2000	963.1
2001	1,181.8
2002	1,166.9
2003	1,347.2
2004	1,157.3
2005	917.2
2006	1,057.3

Precipitación media anual	
2007	1,120.4
2008	1,160.6
2009	1,148.0

Precipitación media anual	
2010	1,400.7
2011	1,240.3
$\overline{hp} =$	<b>1,124.5</b>

- Área de la cuenca: 1,600.83 km<sup>2</sup>
- Coeficiente de escurrimiento: Se determina en función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual de la cuenca.

Con apoyo de la cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el suelo en la cuenca del Río Yautepec se clasifica principalmente en suelos permeables e impermeables (A y C), dando como resultado el siguiente coeficiente de escurrimiento K:

Tipo de suelo	Uso de suelo	Valor de K (adim)	Área (km <sup>2</sup> )	Fración del área total (%)
<b>A</b>	Cultivos	0.24	655.70	40.96
<b>A</b>	Zona Urbana	0.26	38.94	2.43
<b>A</b>	Área sin vegetación	0.26	9.4	0.59
<b>A</b>	Selva baja caducifolia	0.22	315.76	19.72
<b>A</b>	Pastizal alta montaña	0.14	6.1	0.38
<b>A</b>	Pastizal inducido	0.24	35.36	2.21
<b>A</b>	Bosque pino	0.17	223.47	13.96
<b>A</b>	Bosque Oyamel	0.17	49.39	3.09
<b>A</b>	Bosque de encima	0.12	23.35	1.46
<b>C</b>	Cultivos	0.3	118.57	7.41
<b>C</b>	Zona Urbana	0.32	6.38	0.40
<b>C</b>	Selva baja caducifolia	0.3	118.43	7.40
$K_{\text{promedio}} =$		<b>0.23</b>		100.00

Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (Ce), se calcula mediante<sup>12</sup>:

$$C_e = \frac{K(Pa - 250)}{2000} \rightarrow \text{si } K \leq 0.15 \quad \text{ó} \quad C_e = \frac{K(Pa - 250)}{2000} + \frac{(K - 0.15)}{1.5} \rightarrow \text{si } K > 0.15$$

En la tabla siguiente se muestra el resultado del cálculo del volumen de escurrimiento natural para la cuenca del Río Yautepec:

Año	Pa(mm)	Ce anual	Vol. Esc. Anual (hm <sup>3</sup> )
1990	1262.7	0.168	339.28
1991	1085.3	0.148	256.41
1992	1116.5	0.151	270.16
1993	1005.7	0.138	222.97
1994	846.4	0.120	163.02
1995	1235.5	0.165	325.82
1996	997.1	0.138	219.49
1997	996.5	0.137	219.27
1998	1214.1	0.162	315.43
1999	1118.0	0.151	270.80
2000	963.1	0.134	206.04
2001	1181.8	0.159	300.06
2002	1166.9	0.157	293.11
2003	1347.2	0.177	382.77
2004	1157.3	0.156	288.67
2005	917.2	0.128	188.51
2006	1057.3	0.144	244.38
2007	1120.4	0.152	271.89
2008	1160.6	0.156	290.19
2009	1148.0	0.155	284.39
2010	1400.7	0.184	411.66
2011	1240.3	0.165	328.18
Promedio:			276.93

Por lo que el volumen medio anual de escurrimiento natural en la cuenca es de: **276.93 hm<sup>3</sup>**

<sup>12</sup> : Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. IMTA, 2006



Figura 3. 1. Estaciones hidrométricas en la cuenca del río Yautepéc

### 3.1.1.2. Volumen anual de retornos

En caso de no tener los aforos de los volúmenes de salidas, se pueden determinar los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de la cuenca hidrológica utilizando porcentajes recomendados para México<sup>13</sup>, los cuales se presentan en la tabla siguiente:

Uso del agua	Rango %
<b>Urbano</b>	70-80
<b>Agrícola</b>	5-15
<b>Industrial</b>	50-60
<b>Pecuario</b>	5-15
<b>Acuícola</b>	80-90

Tabla. Porcentajes de retornos.

<sup>13</sup> Fuente: Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. IMTA, 2006.

---

Fuente: Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. IMTA, 2006.

Para el caso de la cuenca del río Yautepec se tiene:

Uso del agua		Volumen de retorno
Sector	Dotación (hm <sup>3</sup> /año)	hm <sup>3</sup> /año
Urbano	24.32	18.24
Agrícola	511.12	51.11
Industrial	2.40	1.32
	Total	70.67

#### 3.1.1.3. *Volumen anual de exportaciones*

El volumen anual de exportaciones se determina sumando los volúmenes de agua superficial que se transfieren de la cuenca hidrológica en estudio, a otra u otras cuencas, y que por consecuencia no drena en forma natural. En el caso de la cuenca del río Yautepec no existen exportaciones a cuencas vecinas de manera artificial.

#### 3.1.1.4. *Volumen anual de extracción de agua superficial*

Se determina sumando los volúmenes anuales asignados y concesionados por la Comisión, limitaciones que se establezcan en las vedas y, si es el caso, los volúmenes correspondientes a reservas, conservación ecológica y reglamentos. De acuerdo con el “Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010”, el volumen de extracción de agua superficial total en la cuenca asciende a 289.6 hm<sup>3</sup> (del cual el 97% es para uso agrícola y el 3% es para uso público urbano).

##### 3.1.1.4.1. *Volumen actual comprometido*

El volumen actual comprometido aguas abajo se determina como la parte de los escurrimientos de la cuenca hacia aguas abajo, necesaria para cumplir los volúmenes asignados y concesionados por la Comisión y limitaciones que se establezcan en las vedas.

De acuerdo con el Registro Público de Derecho del Agua (REPDA), existe un acuerdo que establece veda por tiempo indefinido para los ríos Chalma, Tembembe, Tetlama, Apatlaco, Salado, Agua Dulce, Yautepec, Ayala, Cuautla, Amacuzac y Amatzimac, dicho acuerdo fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre del 1953, con el número de registro VSUP090. Por lo que no hay disponibilidad de agua superficial en la cuenca; es decir, el agua superficial que escurre en la cuenca menos el agua superficial concesionada para uso público, agrícola e industrial ya se encuentra comprometida. Por lo tanto se tiene:

$$\text{Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo} = \text{Volumen actual comprometido aguas abajo}$$

No obstante, en 2011 el entonces presidente Felipe Calderón decretó la moderación de la veda para que el agua pueda ser utilizada en caso de ser necesaria para fines domésticos y en una segunda etapa para fines agrícolas; las medidas que la irán levantando serán supervisadas por la Secretaría del Medio Ambiente y la Comisión Nacional del Agua.

### 3.2. Balance de agua subterránea

En la actualidad, utilizando como referencia los valores establecidos en el decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 23 de febrero de 2012, el acuífero de Cuautla- Yautepec no se encuentra sobreexplotado y tiene una disponibilidad estimada de 8.84 hm<sup>3</sup>, considerándose una disponibilidad del recurso hídrico mediana.

A continuación se muestra la situación para el acuífero Cuautla-Yautepec, publicada por la CONAGUA, diciembre 2013.

CLAVE	Acuífero	R	DNCOM	VCAS	DAS	DEFICIT
CIFRAS EN HECTOMETROS CUBICOS						

<b>1702</b>	<b>CUAUTLA-YAUTEPEC</b>	348.6	256.0	83.76	8.84	0
-------------	-------------------------	-------	-------	-------	------	---

donde:

- R: recarga media anual
- DNCOM: descarga natural comprometida
- CVAS: volumen concesionado de agua subterránea
- VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos
- DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea

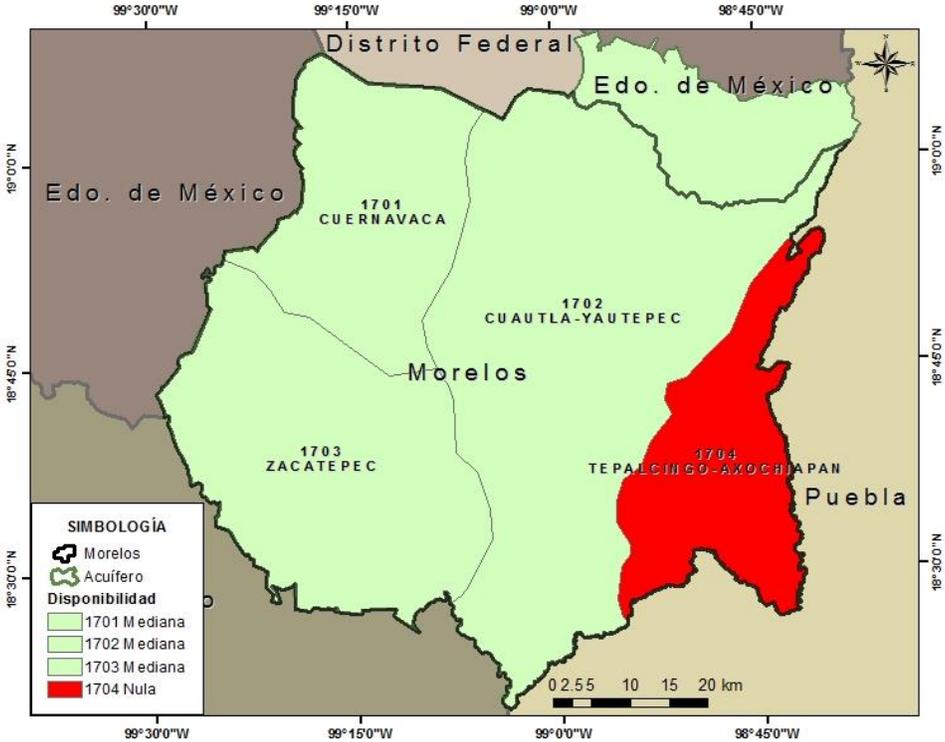


Figura 3. 2. Disponibilidad de los acuíferos en Morelos, corte al 23 de febrero de 2012.

Como se puede observar en la figura 3.2, en el acuífero de Cuautla-Yautepec existe disponibilidad del recurso hídrico, por lo que para la cuenca del río Yautepec se tiene una disponibilidad de agua subterránea adecuada; sin embargo, se debe prever no sobreexplotar el acuífero a largo plazo.

---

## **Capítulo IV**

### **“Proyecciones”**

## 4.1. Proyección de la demanda

### 4.1.1. Uso público urbano

Para la proyección de la demanda, primeramente se debe determinar cuál será la población en el futuro, para esto se tiene que hacer el cálculo de la tasa de crecimiento de la población.

A continuación se muestra el resultado de la tasa de crecimiento mediante el método geométrico<sup>14</sup>; en este método se utilizan los valores inicial y final de una serie de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r = \left[ \left( \frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

donde

r es la tasa de crecimiento en porcentaje

V<sub>f</sub> es el valor final de la serie (población 2010)

V<sub>i</sub> es el valor inicial de la serie (población 2000)

n es el número de observaciones (10 años)

#### Población total dentro de la cuenca

Estado	Municipio	Población 2000	Población 2010	Tasa de crecimiento (%)
Edo. de México	Amecameca	3,879	4,767	2.08
Edo. de México	Atlautla	8,226	8,728	0.59
Edo. de México	Juchitepec	18,642	23,124	2.18
Edo. de México	Ozumba	20,487	22,835	1.09
Edo. de México	Tepetlixpa	15,053	18,324	1.99
Morelos	Atlatlahucan	13,717	16,940	2.13
Morelos	Ayala	19,436	21,358	0.95
Morelos	Cuatla	1,078	1,856	1.44*

<sup>14</sup> Fuente: Torres-Degró, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional(r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. DICE digital, 2(1), 142-160. Recuperado de <http://soph.md.rcm.upr.edu/demo/index.php/cide-digital/publicaciones>

Estado	Municipio	Población	Población	Tasa de crecimiento
		2000	2010	(%)
Morelos	Cuernavaca	4,111	9,820	1.44*
Morelos	Emiliano Zapata	4,265	5,520	1.44*
Morelos	Huitzilac	1,779	2,089	1.62
Morelos	Jiutepec	22,994	28,190	1.44*
Morelos	Jojutla	20,445	23,840	1.55
Morelos	Tepoztlán	32,708	40,305	2.11
Morelos	Tlalnepantla	5,626	6,636	1.66
Morelos	Tlaltizapán	26,349	28,963	0.95
Morelos	Tlaquiltenango	21,003	22,434	0.66
Morelos	Tlayacapan	13,851	16,543	1.79
Morelos	Totolapan	8,742	10,789	2.13
Morelos	Xochitepec	51	325	1.44*
Morelos	Yautepec	83,877	95,558	1.31
Morelos	Zacatepec de Hidalgo	295	228	-2.54
	Total	346,614	409,172	

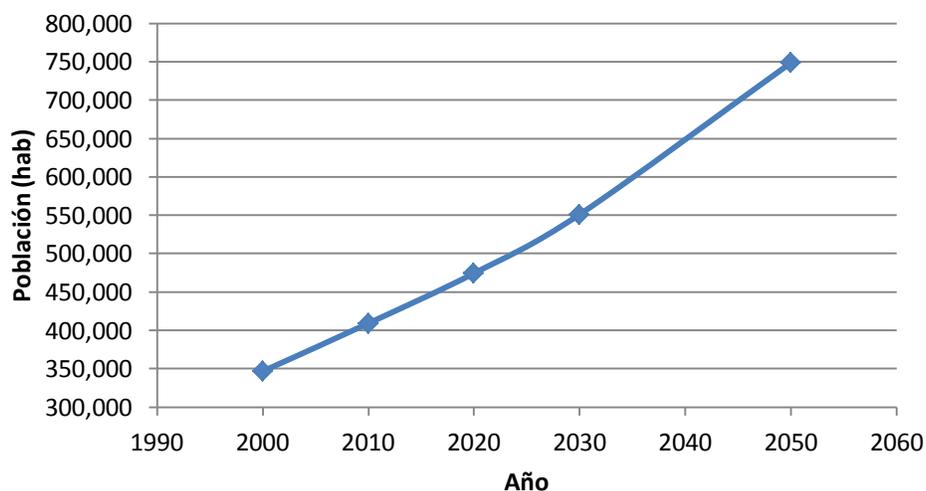
\*Tasa de crecimiento del Consejo Estatal de Población Morelos, 2010 – 2013

Con la tasa de crecimiento se pueden hacer las proyecciones de la población futura que, en este caso, es para los años 2020, 2030 y 2050 como se muestran en la tabla siguiente:

Crecimiento demográfico						
Estado	Municipio	Población 2010	Tasa de crecimiento 2000-2010	Proyecciones de población al año:		
				2020	2030	2050
Edo. de México	Amecameca	4,767	2.08	5,858	7,199	10,873
Edo. de México	Atlautla	8,728	0.59	9,261	9,826	11,062
Edo. de México	Juchitepec	23,124	2.18	28,684	35,580	54,745
Edo. de México	Ozumba	22,835	1.09	25,452	28,369	35,245
Edo. de México	Tepetlixpa	18,324	1.99	22,306	27,153	40,235
Morelos	Atlaltlahucan	16,940	2.13	20,920	25,836	39,403
Morelos	Ayala	21,358	0.95	23,470	25,791	31,144
Morelos	Cuatla	1,856	1.44*	2,141	2,470	3,288
Morelos	Cuernavaca	9,820	1.44*	11,329	13,071	17,397

<b>Morelos</b>	Emiliano Zapata	5,520	1.44*	6,368	7,347	9,779
<b>Morelos</b>	Huitzilac	2,089	1.62	2,453	2,880	3,972
<b>Morelos</b>	Jiutepec	28,190	1.44*	32,523	37,521	49,942
<b>Morelos</b>	Jojutla	23,840	1.55	27,799	32,415	44,074
<b>Morelos</b>	Tepoztlán	40,305	2.11	49,667	61,202	92,935
<b>Morelos</b>	Tlalnepantla	6,636	1.66	7,827	9,233	12,845
<b>Morelos</b>	Tlaltzapán	28,963	0.95	31,836	34,995	42,283
<b>Morelos</b>	Tlaquiltenango	22,434	0.66	23,962	25,595	29,202
<b>Morelos</b>	Tlayacapan	16,543	1.79	19,758	23,598	33,663
<b>Morelos</b>	Totolapan	10,789	2.13	13,315	16,433	25,030
<b>Morelos</b>	Xochitepec	325	1.44*	375	433	576
<b>Morelos</b>	Yautepec	95,558	1.31	108,866	124,027	160,977
<b>Morelos</b>	Zacatepec de Hidalgo	228	-2.54	176	136	81
	<b>Total</b>	<b>409,172</b>		<b>474,347</b>	<b>551,111</b>	<b>748,750</b>

### Crecimiento poblacional de la cuenca del Río Yautepec



### Proyección de demanda de agua potable (litros/día)

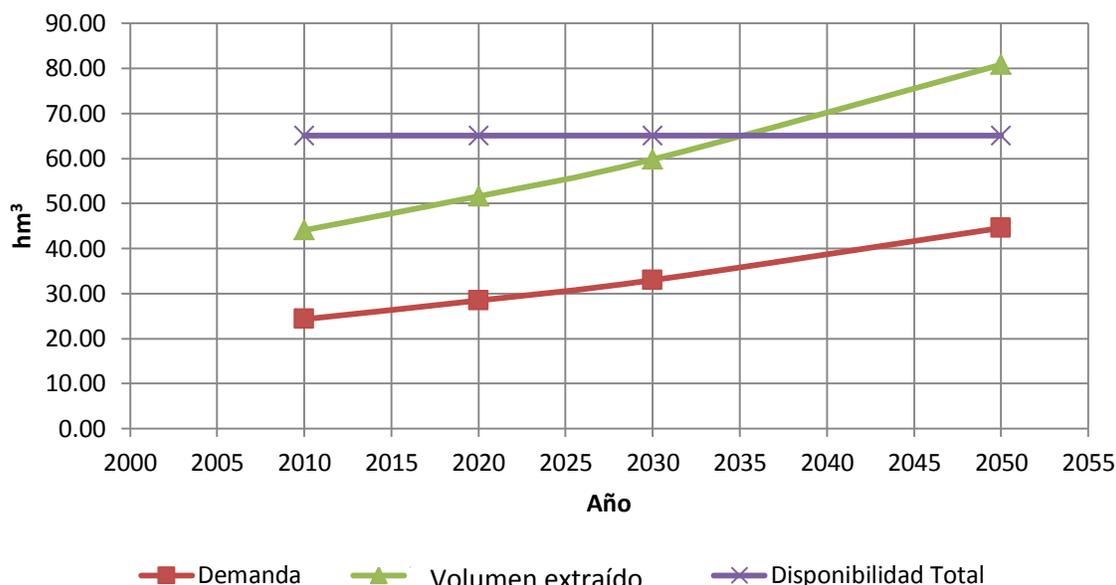
Municipio	Tasa de crecimiento	2020	2030	2050
<b>Amecameca</b>	2.08	758,050	931,400	1,406,500
<b>Atlautla</b>	0.59	1,280,725	1,358,875	1,529,725
<b>Juchitepec</b>	2.18	4,748,225	5,889,375	9,061,550
<b>Ozumba</b>	1.09	4,250,300	4,737,625	5,885,625

<b>Tepetlixpa</b>	1.99	3,039,525	3,699,400	5,481,200
<b>Atlatlahucan</b>	2.13	3,275,100	4,044,375	6,166,750
<b>Ayala</b>	0.95	4,107,600	4,513,600	5,450,550
<b>Cuautla</b>	1.44	267,750	309,000	411,250
<b>Cuernavaca</b>	1.44	1,613,350	1,861,350	2,477,150
<b>Emiliano Zapata</b>	1.44	972,875	1,122,350	1,493,900
<b>Huitzilac</b>	1.62	306,750	360,125	496,500
<b>Jiutepec</b>	1.44	5,324,625	6,142,975	8,175,825
<b>Jojutla</b>	1.55	4,604,950	5,369,825	7,300,775
<b>Tepoztlán</b>	2.11	7,403,050	9,121,950	13,849,250
<b>Tlalnepantla</b>	1.66	1,011,800	1,193,200	1,659,650
<b>Tlaltizapán</b>	0.95	4,959,900	5,451,525	6,586,675
<b>Tlaquiltenango</b>	0.66	4,464,800	4,768,975	5,441,000
<b>Tlayacapan</b>	1.79	2,949,350	3,521,725	5,023,600
<b>Totolapan</b>	2.13	1,946,225	2,401,600	3,657,425
<b>Xochitepec</b>	1.44	47,000	54,250	72,125
<b>Yautepec</b>	1.31	20,668,875	23,546,475	30,560,100
<b>Zacatepec de Hidalgo</b>	-2.54	22,125	17,125	10,250
<b>Total:</b>		<b>78,022,950</b>	<b>90,417,100</b>	<b>122,197,375</b>

**Resumen de la proyección de la demanda de agua potable en la  
cuenca del Río Yautepec**

	<b>lts/día</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>
2020	78,022,950	28.48
2030	90,417,100	33.00
2050	122,197,375	44.60

### Brechas uso publico urbano



Notas:

- El volumen extraído está estimado con la suposición de que se mantiene un desperdicio de agua de 44.8 % dentro de la cuenca en los próximos años.
- La disponibilidad total es el conjunto de la disponibilidad de agua superficial y subterránea calculada al 2010, no considera aumento de extracción de agua ni la variación de disponibilidad por el cambio climático

En la gráfica anterior se muestra que el volumen extraído (línea verde) es considerablemente superior al volumen que demanda la población para uso público urbano (línea roja), lo que indica sobreasignación del recurso hídrico dentro de la cuenca que debe ser disminuido para optimizar el uso del mismo; de seguir con esta tendencia, se prevé que para el año 2035 el volumen que requiere ser concesionado para la población supere la disponibilidad del recurso hídrico dentro de la cuenca, por lo que se tendrán problemas para satisfacer la demanda de dicho sector.

#### 4.1.2. Uso agrícola

De acuerdo con un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés Food and Agriculture Organization), se espera que la demanda global de alimentos se incremente en un 70% para el año 2050, lo que implicaría que la producción de productos agrícolas necesitará continuar con un crecimiento rápido equivalente a por lo menos el crecimiento histórico para evitar brechas importantes en el suministro. El mismo estudio estima que para que lo anterior se cumpla se debe de continuar una expansión de tierras para producción agrícola de 5 a 7% por década (comparable a 2010-2020).

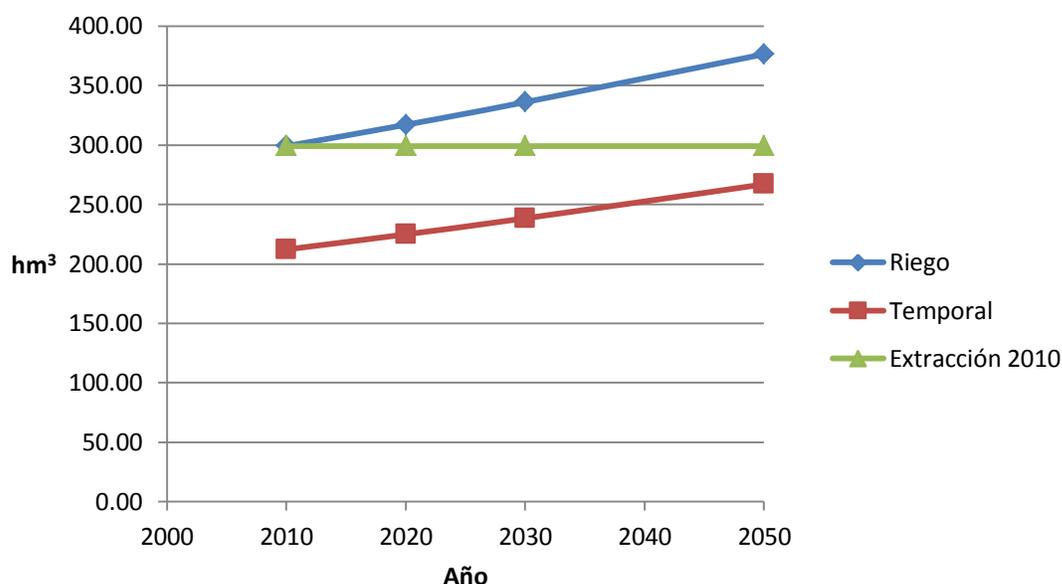
Con base en lo anterior se realizó la estimación de la dotación de agua anual que se requerirá para el uso agrícola en los próximos años dentro de la cuenca del río Yautepec, dando como resultado:

Proyección del uso agrícola para la cuenca del Río Yautepec		
Año	Superficie requerida (km <sup>2</sup> )	Volumen requerido (hm <sup>3</sup> /año)
2020	820.75	541.79
2030	869.99	574.29
2050	974.396	643.21

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO. Porcentaje de expansión de tierras utilizado del 6 %.

Proyección del uso agrícola para la cuenca del Río Yautepec				
Año	Riego		Temporal	
	Superficie requerida (km <sup>2</sup> )	Volumen requerido (hm <sup>3</sup> /año)	Superficie requerida (km <sup>2</sup> )	Volumen requerido (hm <sup>3</sup> /año)
2020	480.15	316.96	340.59	224.83
2030	508.96	335.97	361.03	238.32
2050	570.04	376.29	404.35	266.92

### Brecha de volumen requerido para agricultura



#### 4.1.3. Uso industrial

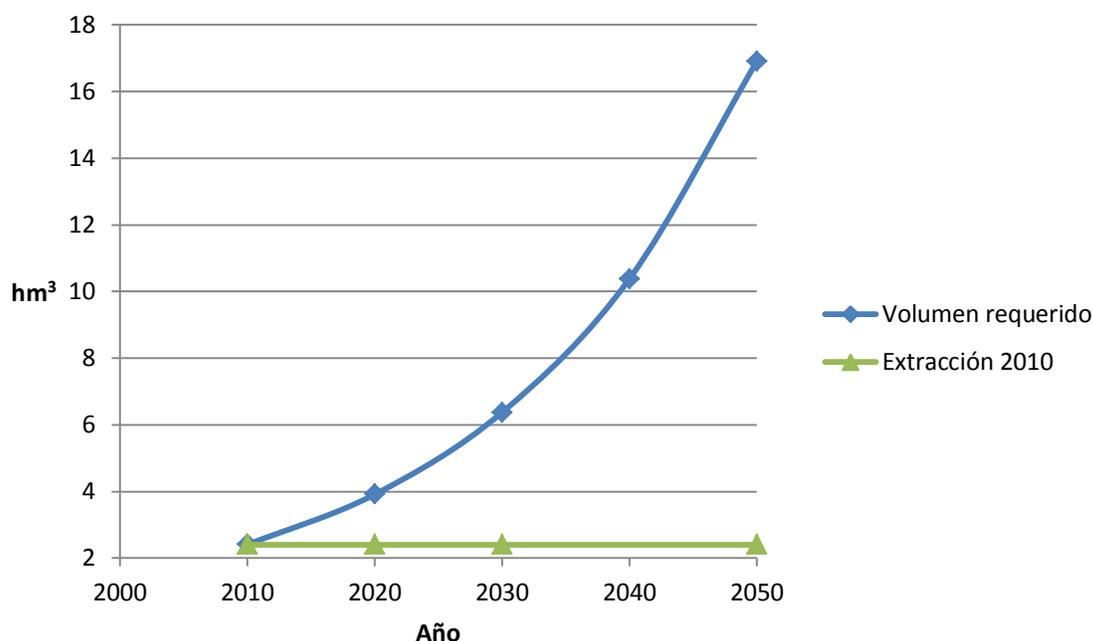
De acuerdo con la empresa consultora Aregional, entre el 2011 y el 2014, la actividad industrial en el país crecerá 3.8% promedio anual. No obstante, los estados de mayor crecimiento (superior al 5% anual) serían: Quintana Roo,

---

Morelos, Veracruz, Puebla, Zacatecas, Nuevo León, Sinaloa y Sonora. Con base en lo anterior, se realizó la estimación de la proyección para el sector industrial como se muestra en la tabla siguiente:

Volumen requerido uso industrial	
Año	hm <sup>3</sup>
2010	2.4
2020	3.9
2030	6.4
2040	10.4
2050	16.9

### Brecha de volumen requerido para la industria



Como se puede observar en la gráfica anterior, para el uso industrial se tiene un aumento de volumen requerido de 14.5 hm<sup>3</sup> para el año 2050 comparado con la extracción actual destinado a este uso.

#### 4.2. Cambio Climático

El cambio climático se refiere a la modificación del clima con respecto al tiempo de los parámetros climáticos como temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. En

teoría, dichos cambios son debidos a causas naturales y antropogénicas; no obstante, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas. Para la cuenca del Río Yautepec se tienen las siguientes proyecciones de las anomalías de precipitación y temperatura, para el escenario A2:

<b>Cambio respectivo esperado bajo el escenario SRES-A2</b>				
<b>Entidad federativa</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Cambio proyectado 2061-2090</b>		
		<b>Invierno</b>	<b>Verano</b>	<b>Anual</b>
Cuenca del Río Yautepec	Precipitación (%)	-21.09	-13.22	-12.95
	Temperatura (C°)	+2.85	+3.13	+3.13

Fuente: Elaboración propia con datos de: Efectos del Cambio Climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático, IMTA, 2010, Polioptro F. Martínez Austria, Carlos Patiño Gómez.

A pesar del aumento de temperatura, dentro de la cuenca del Río Yautepec se siguen manteniendo las mismas clasificaciones de unidades climáticas utilizadas para determinar la demanda de agua potable (capítulo 2.3.2), por lo tanto, no varía la demanda de agua potable en cuanto al cambio de temperatura se refiere. No obstante que el aumento de este parámetro puede afectar a la producción según el tipo de cultivos dentro de la región, el IPCC (Pánel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés) en su cuarto informe prevén un aumento en el potencial de producción de alimentos ante incrementos en la temperatura promedio local de 1 a 3°C, lo que beneficia a la producción agrícola dentro de la cuenca. Para el caso de la precipitación se tiene:

<b>Pa (mm) actual</b>	<b>Proyección SRES-A2 (%)</b>	<b>Pa (mm) 2061-2090</b>
1124.5	-12.95	978.9

Donde: P=: Precipitación media anual  
 Elaboración propia con datos de: Efectos del Cambio Climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático, IMTA, 2010, Polioptro F. Martínez Austria, Carlos Patiño Gómez.

---

Aplicando el método indirecto para la determinación del volumen medio anual de escurrimiento natural en la cuenca se obtiene:

Año	Pa(mm)	Ce anual	Vol. Esc. Anual (hm <sup>3</sup> )
2061-2090	978.9	0.135	212.24

Lo que representa una disminución del 23.36 %, pasando de 276.93 hm<sup>3</sup> para el año 2011 a 212.24 hm<sup>3</sup> en el periodo 2061-2090 de acuerdo al escenario A2. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} & \text{Volumen medio anual} \\ & \text{de escurrimiento de la} \\ & \text{cuenca hacia aguas} \\ & \text{abajo} \end{aligned} = 212.24 \text{ hm}^3 + 70.67 \text{ hm}^3 - 289.6 \text{ hm}^3 = -6.69 \text{ hm}^3$$

$$\begin{aligned} & \text{Disponibilidad media} \\ & \text{anual de agua} \\ & \text{superficial en la cuenca} \\ & \text{hidrológica} \end{aligned} = -6.69 \text{ hm}^3 - 0 \text{ hm}^3 = -6.69 \text{ hm}^3$$

Como se puede observar, al incluir el factor del cambio climático se presenta un déficit en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca; situación que es preocupante para la cuenca, ya que este valor se obtiene sin considerar el aumento de la demanda del recurso por el crecimiento de la población, ni el cambio en el sector agrícola y el industrial; por lo que la disponibilidad variaría al incluir dichos factores.

### 4.3. Análisis de resultados

Concepto	Característica	Diagnóstico	Problema
<b>Delimitación de RHA</b>	La cuenca forma parte de la RHA IV Balsas y la RHA XIII Aguas del Valle de México	Facilitaría al hacer la toma de decisiones que la cuenca formara parte de una RHA.	Administrativo
<b>Orden de la cuenca</b>	Horton-Strahler: 7	Alto	--
<b>Densidad de drenaje</b>	$D_d = 2.29 \text{ km/km}^2$	Cuenca bien drenada	--
<b>Pendiente media de la cuenca</b>	Pendiente media: 5-12 %	Terreno ligeramente ondulado	Terreno propenso a inundaciones
<b>Pendiente media del cauce principal</b>	$S = 0.0045 = 0.45 \%$	Terreno plano	Terrenos inundables (terrenos planos o ligeramente ondulados adyacentes a ríos o arroyos)
<b>Sinuosidad del cauce principal</b>	Sinuosidad = 1.51	Río Meándrico	
<b>Precipitación media</b>	$h_p = 1,124.5 \text{ mm}$	Valor 47.9 % mayor a la media nacional (760 mm)	
<b>Evapotranspiración media</b>	$ET = 767.7 \text{ mm}$	Representa el 68.3 % de la $h_p$	
<b>Demanda de agua para uso público (al 2010)</b>	Demanda: $24.32 \text{ hm}^3/\text{año}$ Volumen extraído: $44.09 \text{ hm}^3/\text{año}$	Sobre dotación de 81.29 %	
<b>Demanda de agua para agrícola</b>	Riego: $301.91 \text{ hm}^3/\text{año}$ Temporal: $209.21 \text{ hm}^3/\text{año}$ Total: $511.12 \text{ hm}^3/\text{año}$	86.4 % del agua extraída en la cuenca para este uso	

---

**Cambio climático**

Disminución de la precipitación en 12.95% (por lo tanto, disminución del escurrimiento natural)  
Aumento de la temperatura en 3.13 °C

$P_{a_{2061-2090}} = 978.9 \text{ mm}$   
 $\text{Vol. Esc.} = 2121.24 \text{ hm}^3$

El objetivo es tener un desarrollo sustentable de la cuenca; sin embargo, las condiciones y las tendencias actuales no permiten garantizar dicho objetivo. Por lo tanto, es necesario hacer cambios en la forma en la que se está usando o aprovechando el recurso hídrico.

## **Capítulo V**

### **“Plan de acción”**

Ya hecho el estudio general de la cuenca, se procede a analizar la problemática que se determinó en el capítulo 1.2 para definir las líneas de acción que se deben realizar para solucionar y/o mejorar la situación del recurso hídrico.

### 5.1. Elevado consumo y desperdicio del recurso hídrico

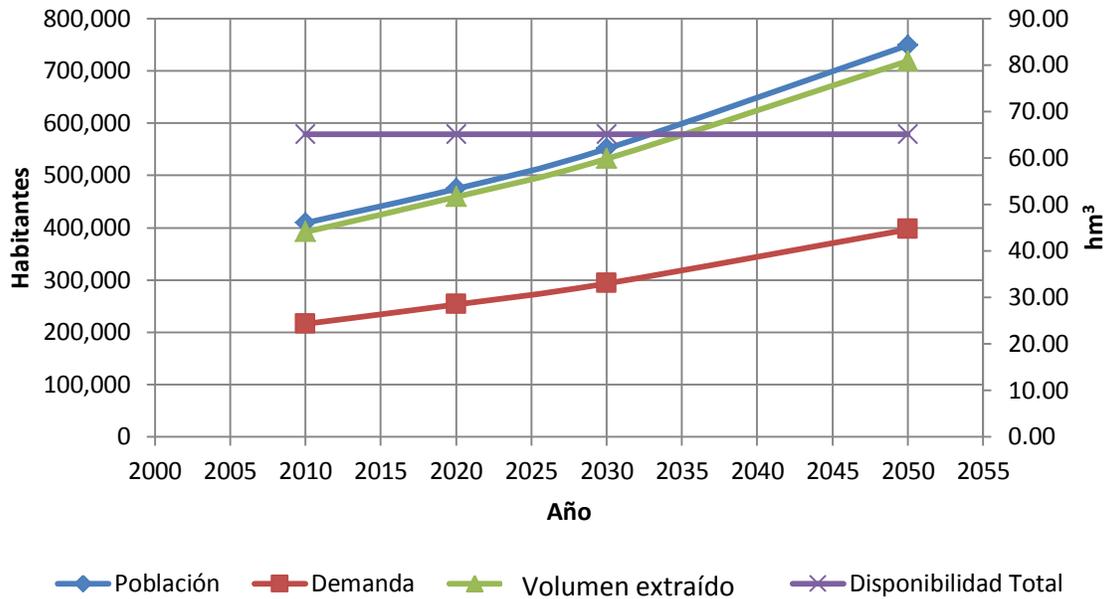
De acuerdo con el Comité de Cuenca del Río Yautepec se tiene un elevado consumo y desperdicio del recurso hídrico, para verificarlo se analizó de acuerdo con los principales usos del agua para detectar la fuente del problema, como se muestra a continuación:

#### 5.1.1. Uso público urbano

Como se muestra en el capítulo 2.3.2 del presente documento, para el año 2010 se tiene una demanda anual de agua potable dentro de la cuenca de 24.32 hm<sup>3</sup>; no obstante, actualmente se tiene asignada una extracción de 44.09 hm<sup>3</sup> anual para este uso por parte de la administración actual y, suponiendo el peor escenario (que es extraer todo el volumen asignado) se tendría una extracción de 19.77 hm<sup>3</sup> innecesariamente (lo que indica 44.8 % de sobre extracción).

	Volumen extracción	Demanda de agua potable	Volumen sobre extraído
hm <sup>3</sup> /año	44.09	24.32	19.77
%	100	55.2	44.8

Fuente: Elaboración propia con datos del Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010.



**Notas:**

- El volumen extraído está estimado con la suposición de que se mantiene una sobre extracción de agua de 44.8 % dentro de la cuenca en los próximos años.
- La disponibilidad total es el conjunto de la disponibilidad de agua superficial y subterránea calculada al 2010, no considera aumento de extracción de agua ni la variación de disponibilidad por el cambio climático

**Razones:**

- Se tiene la idea de tener abundancia en el recurso hídrico
- No se paga el costo real para el uso del agua
- No se suspende el suministro de agua

Estudios de evaluación de pérdidas en los sistemas de distribución de agua potable realizados por la CONAGUA, el IMTA y otras dependencias, han demostrado que el problema principal de fugas de agua potable se presenta en las tomas domiciliarias, debido a que no se cumplen las especificaciones de construcción establecidas por la CONAGUA (con la NOM-002-CNA-1995) o por las autoridades estatales y municipales. De acuerdo con un estudio realizado por la CONAGUA y el IMTA aproximadamente un 40 % del agua que se destina para consumo humano se desperdicia, pero no se pierde en la red de abasto principal o en la secundaria, sino en las tomas domiciliarias.

<b>Volumen de desperdicio</b>			
	<b>Tomas domiciliarias</b>	<b>Red principal o secundaria</b>	<b>Total</b>
hm <sup>3</sup> /año	17.64	2.13	19.77

%	40.0	4.8	44.8
---	------	-----	------

Nota: el 40% que se considera como volumen de desperdicio en tomas domiciliarias se toma en caso de no contar con la información de un estudio correspondiente, el valor recomendado de dicho desperdicio varía entre 40 y 60 %

**Solución:**

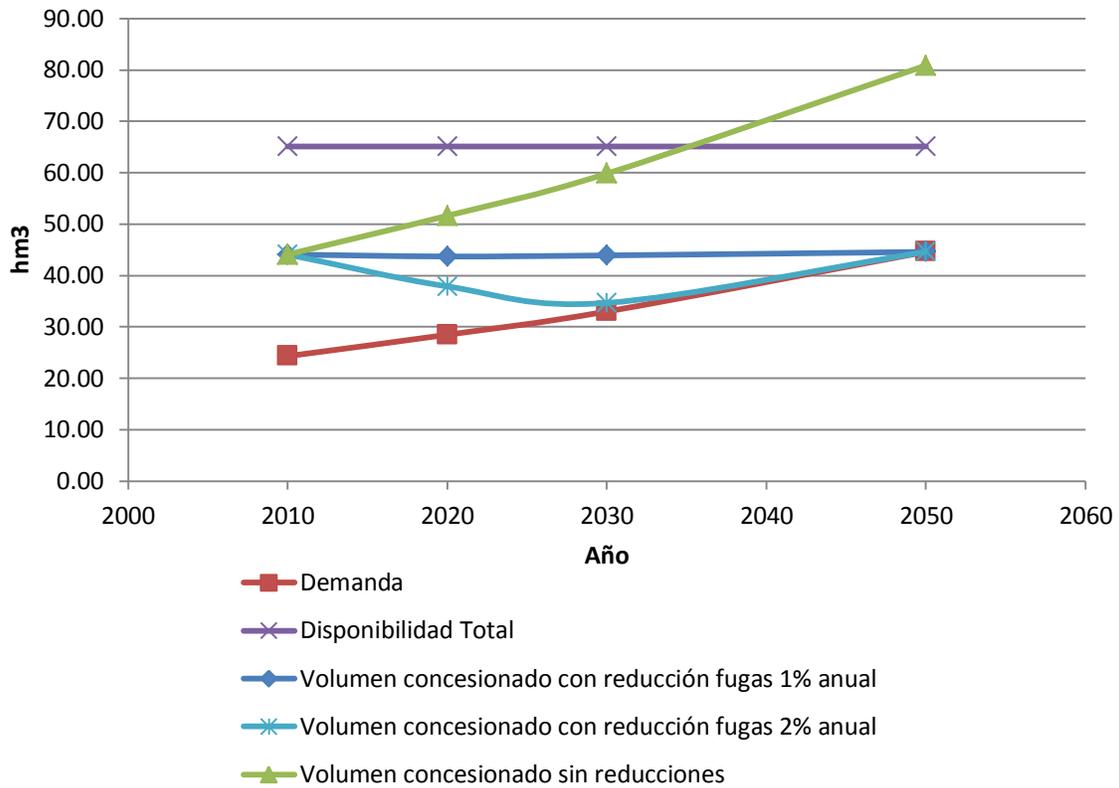
- Eliminar/disminuir las fugas

Si se eliminaran las fugas entre la toma y las líneas de conducción a la vivienda se tendría un ahorro anual de 17.64 hm<sup>3</sup>, los cuales no se extraerían de su fuente natural.

Sin embargo, en el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2007 se estima que en lugares donde se tenga implementado un programa de detección y control de fugas, se puede aspirar a reducir el porcentaje de fugas entre 1 y 2 % anualmente; razón por la que se puede esperar que en el mediano plazo (5 a 10 años) las fugas sean del orden de 30 por ciento. Es decir, las fugas se pueden reducir dependiendo la correcta implementación del programa y detección de fugas de la siguiente manera:

Reducción de fugas (porcentaje anual)	Porcentaje de fugas en tomas domiciliarias				
	En 5 años	En 10 años	En 20 años	En 30 años	En 45 años
<b>1</b>	39.8	34.8	24.8	14.8	-
<b>2</b>	34.8	24.8	4.8	-	

Nota: Porcentaje de fugas basado en una disminución con respecto al 44.8% de fugas actuales de la cuenca. Los años de proyección son a partir de la implementación del programa de reducción de fugas.



- La disponibilidad total es el conjunto de la disponibilidad de agua superficial y subterránea calculada al 2010, no considera aumento de extracción de agua ni la variación de disponibilidad por el cambio climático

No obstante, en países muy desarrollados se han logrado obtener pérdidas de hasta 15% o aun menores, sin lograr una eficiencia del 100 por ciento; por lo que para la cuenca se tendrían los siguientes valores considerando que cuando mucho se pueden disminuir las pérdidas al 15%:

Desperdicio mínimo estimado			
	Tomas domiciliarias	Red principal o secundaria	Total
hm <sup>3</sup> /año	5.90	0.71	6.61
%	13.38	1.62	15.00

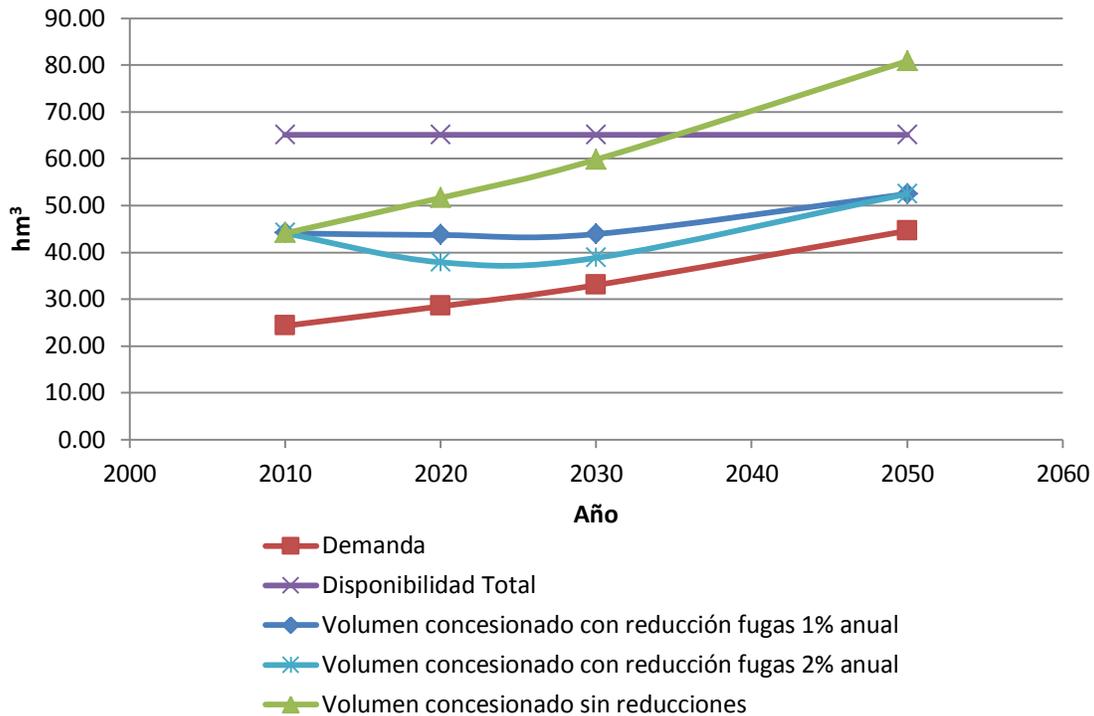
Nota: Porcentaje de desperdicio mínimo estimado de reducción de fugas (de 1 a 2%) entre 15 y 29 años.

### Proyección de la demanda de agua potable en la cuenca del Río Yautepec

Año	Demanda hm <sup>3</sup> /año	Extracción* hm <sup>3</sup> /año
-----	---------------------------------	-------------------------------------

2020	28.48	32.75
2030	33.00	37.95
2050	44.60	51.29

\*Extracción de agua superficial y/o subterránea mínima requerida para abastecer la dotación estimando un 15% de fugas.



Notas:

- Reducciones de fugas del 1 y 2 % anual hasta llegar a una reducción máxima del 15% de fugas.
- La disponibilidad total es el conjunto de la disponibilidad de agua superficial y subterránea calculada al 2010, no considera aumento de extracción de agua ni la variación de disponibilidad por el cambio climático

### Acciones a seguir para eliminar/disminuir fugas

Para eliminar las fugas entre la toma y las líneas de conducción a la vivienda las acciones a seguir son:

- ◆ Verificar y, en su caso, corregir la instalación de cada toma domiciliaria con base a la NOM-002-CNA-1995

Hay pérdidas inevitables del agua en todas las formas de conducción.

- ◆ Detectar fugas en el sistema y repararlas, para lo cual es recomendable elaborar un programa de mantenimiento periódico, donde se incluya:

- 
- ❖ Revisión mensual del estado físico de: medidores, tuberías y dispositivos de consumo.
    - *Realizar estudios de campo.* A partir de medición en sectores controlados (distritos hidrométricos) para encontrar fugas en tuberías principales, secundarias y pérdidas en tomas clandestinas.
    - *Realizar un estudio de Evaluación de eficiencia de la red de agua potable como lo indica la NORMA Oficial Mexicana NOM-013-CNA-2000, Redes de distribución de agua potable-Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba.*
    - *Analizar el tipo de material y conducto.* Los conductos a cielo abierto (canales) presentan evaporación dependiendo el clima en el lugar y, dependiendo del material que están contruidos, presentan diferentes porcentajes de infiltración (hasta de un 40% en caso de canales de tierra); reduciéndose (e incluso eliminándose si es totalmente hermético) las pérdidas en evaporación e infiltración en el caso de tuberías.
  - ❖ Revisión del nivel de consumos, por tipo de uso y área.
    - ◆ Realizar campañas para el cuidado del agua.

La CONAGUA y la CEAgua ha lanzado varias campañas para que la población haga conciencia en cuidar el agua, tales como las campañas: “Lava tus dientes con un solo vaso” o “El agua es como tu familia, protégela”. Por lo que actualmente ya se está aplicando la concientización a las personas sobre el cuidado del agua (aumentando la cultura sobre el uso de la misma), por lo que es responsabilidad de cada municipio y localidad verificar que se estén cumpliendo las recomendaciones dadas en las campañas. Este tipo de campañas conlleva a la implementación de muebles y dispositivos de bajo consumo de agua (regaderas, sanitarios, etc.) que corre por cuenta de los usuarios; así como la detección y reparación de fugas en los mismos.

Ventajas	Desventajas	Costos \$
Al eliminar las fugas totalmente entre la toma y las líneas de conducción a la vivienda, se tiene un ahorro del 44.8 % del volumen de extracción actual (que para la cuenca es de 19.77 hm <sup>3</sup> /año) y, por lo tanto, disminución de la explotación tanto de agua superficial como de agua subterránea.	Dependiendo de la eficiencia con que se aplique la disminución de fugas, éstas se eliminarán de 20 a 40 años. No obstante, en países avanzados se ha logrado una disminución de fugas máxima al 15 % del volumen de extracción actual <sup>15</sup> (que para la cuenca es de 6.61 hm <sup>3</sup> /año).	Con base en el documento "Situación del subsector de agua potable, alcantarillado y saneamiento 2012, CONAGUA, se tiene que para una disminución de la extracción de 6.61 hm <sup>3</sup> por año, para el estado de Morelos se tiene un ahorro de \$104,107,500.00 <sup>16</sup> pesos por año
Generación de fuentes de trabajo	Contratación y capacitación de personal para realizar el mantenimiento periódico de medidores, tuberías y dispositivos de consumo.	En general, el costo de inversión para el mejoramiento del sistema de agua potable es elevado.
Uso eficiente y racional del agua.	Dependiendo de la eficiencia con que se aplique la disminución de fugas, para llegar a un	

<sup>15</sup> Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Datos básicos, Comisión Nacional del Agua, 2007.

<sup>16</sup> Teniendo un valor de \$15.75 por m<sup>3</sup> de venta, tomando el valor medio de Tlayacapan

Ventajas	Desventajas	Costos \$
	desperdicio del 15% del volumen concesionado tomaría de 12.5 a 25 años.	
Las campañas para el cuidado de agua implican un bajo costo de inversión para las instituciones correspondientes en la cuenca (organismos de cuenca y municipios), ya que las campañas son promovidas por el gobierno federal por lo que solo tienen que aprovecharse.	Costo adicional tanto para los usuarios como para los organismos encargados de la administración del agua, principalmente al reparar y/o comprar nuevas tuberías, medidores, muebles ahorradores de agua, etc.	
	No se puede determinar la cantidad de agua que se ahorra dentro de las viviendas ya que depende de cada localidad y de que tan bien estén aplicando las medidas para el ahorro de agua.	

Acciones a realizar para la verificación del correcto uso del agua dentro de la vivienda:

- ◆ Implementación de sistemas de micromedición, con lo que se cubre:
  - ❖ Registro confiable de consumos
  - ❖ Base de consumos para la aplicación de **tarifas**

- ❖ Establecimiento de bases de datos confiables para los procesos confiables y evaluación de inconsistencia, población atendida, proyección de la demanda o programación de inversiones en la red.
- ❖ Fomentar la reducción de agua no contabilizada (desperdicio y pérdidas)

Con la micromedición se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Permite cobrar a cada usuario del servicio en forma proporcional a su utilización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Genera mayor número de reclamos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fomenta el uso racional y la conservación del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Medidas de protección adicionales encareciendo la instalación debido al robo de medidores de bronce</li> </ul>

Se han realizado diversos estudios sobre las tarifas que se deben implementar dependiendo de los datos financieros de los prestadores del servicio de agua potable, para el caso de la cuenca se puede tomar de base los siguientes datos analizados y publicados en el documento "Situación del subsector agua potable, alcantarillado y Saneamiento, edición 2012, CONAGUA".

Tamaño de la población (hab)	Gastos unitarios producción (\$/m <sup>3</sup> )	Gastos unitarios Venta (\$/m <sup>3</sup> )	Lugar de referencia
<b>Mayor a 20 mil y menor a 50 mil</b>	1.13	1.88	Tlaquiltenango
<b>Mayor a 2500 y menor a 20 mil</b>	2.91	15.75	Tlayacapan

Al implementar el sistema de micromedición se ajustaría la tarifa de acuerdo al consumo del usuario.

### 5.1.2. Uso agrícola

Volumen de extracción para uso agrícola (hm <sup>3</sup> )	
	Volumen concesionado
D.R.016	156.39
Unidades de riego	142.63
<b>Total</b>	<b>299.02</b>

El mismo que se distribuye de la siguiente manera:

Volumen de extracción para uso agrícola (hm <sup>3</sup> )	
Superficial	278.02
Subterránea	21.00
<b>Total</b>	<b>299.02</b>

Dando un rendimiento de 1.51 km<sup>2</sup>/hm<sup>3</sup>

Actualmente *no se presenta un problema* en el abastecimiento del agua para el sector agrícola; sin embargo, se debe prever una buena administración del recurso hídrico para no tener problemas en un futuro.

Cuenca del Río Yautepec		
	Superficie total km <sup>2</sup>	Volumen utilizado(hm <sup>3</sup> )
D.R. 016	236.91	156.39
Unidades de riego	537.38	354.73
<b>Total</b>	<b>774.29</b>	<b>511.12</b>

Proyección del uso agrícola para la cuenca del Río Yautepec		
Año	Superficie requerida (km <sup>2</sup> )	Volumen requerido <sup>1</sup> (hm <sup>3</sup> /año)
2020	820.75	541.79
2030	869.99	574.29
2050	974.396	643.21

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO. Porcentaje de expansión de tierras utilizado del 6 %.

<sup>1</sup>Volumen requerido para su aprovechamiento en temporal y riego

Proyección del uso agrícola para la cuenca del Río Yautepec	
Riego	Temporal

Año	Superficie requerida (km <sup>2</sup> )	Volumen requerido (hm <sup>3</sup> /año)	Superficie requerida (km <sup>2</sup> )	Volumen requerido (hm <sup>3</sup> /año)
2020	480.15	316.96	340.59	224.83
2030	508.96	335.97	361.03	238.32
2050	570.04	376.29	404.35	266.92

Actualmente se tiene una extracción para el uso agrícola para riego de 299.02 hm<sup>3</sup> anualmente, valor que debe incrementarse como se muestra en la tabla anterior para poder satisfacer las necesidades básicas alimenticias en el país; el aumento de dicho volumen afectara el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca aguas debajo de la siguiente manera (dependiendo las medidas a utilizar):

- Considerando que no cambia la tendencia actual, es decir, se tiene la misma tecnificación actual sin mejorarla y no se disminuye la superficie de temporal.

#### Proyección del uso agrícola para la cuenca del Río Yautepec

Año	Volumen requerido (hm <sup>3</sup> /año)	Riego		Vmae (hm <sup>3</sup> /año)
		Superficial (hm <sup>3</sup> /año)	Subterránea (hm <sup>3</sup> /año)	
2020	316.96	294.70	22.26	49.08
2030	335.97	312.38	23.60	38.04
2050	376.29	349.86	26.43	16.15

Vmae: Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo

Como se puede observar en la tabla anterior, con esta tendencia se tiene una disminución del volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo lo que, a futuro, ocasionará un déficit en la disponibilidad del recurso hídrico debido a que se tiene un volumen comprometido aguas abajo de la cuenca; no obstante, como se había comentado anteriormente en 2011, se decretó que en caso necesario el agua puede ser utilizada para uso agrícola.

Lo más recomendable es ahorrar el recurso hídrico lo más posible, por lo que lo mejor es tecnificar el campo para hacer más eficiente el uso del mismo; en la tabla siguiente se muestra el porcentaje de eficiencia del uso del agua dependiendo el método de riego:

---

---

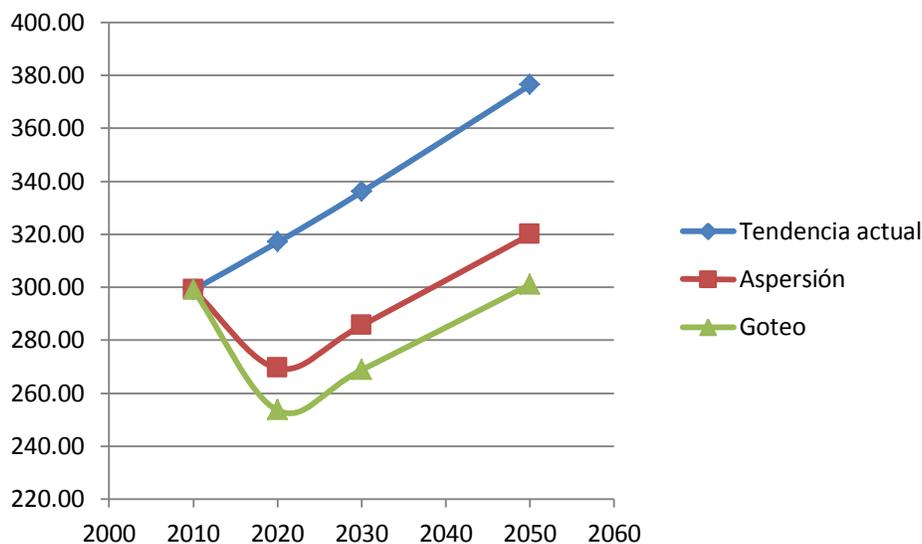
### Variación de eficiencia en función del método de riego

Método de riego	Eficiencia (%)
Por gravedad	30- 70
Por aspersión	80- 85
Por goteo	Mayor a 90

Con base en lo anterior, se debe hacer un análisis de los cultivos dentro de la cuenca para tecnificarlos de acuerdo al costo-beneficio, ya que entre mejor sea el método de tecnificación mayor es el costo de inversión; no obstante, se debe priorizar el ahorro del agua como beneficio.

A continuación se muestra una representación ideal, suponiendo que en toda la agricultura de riego se utilizara el método de aspersión o el método por goteo en los siguientes años, dando como resultando una eficiencia mayor del sistema agrícola:

*Proyección del sector agrícola de riego*



Lo anterior es una estimación, ya que se debe hacer un estudio detallado para saber la situación actual y la posibilidad de tecnificación del campo en la cuenca.

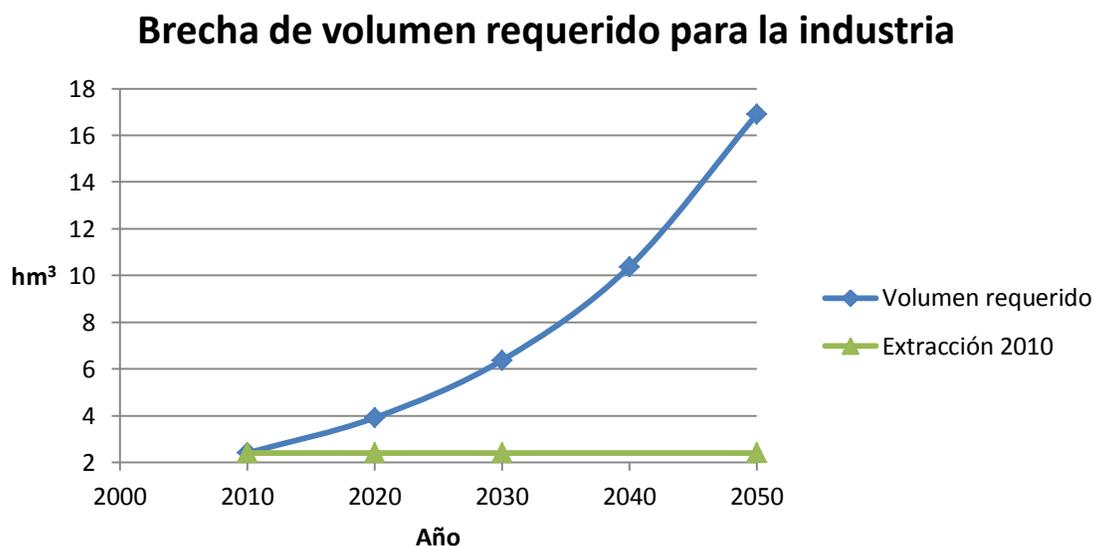
#### 5.1.3. Uso industrial

Actualmente el sector industrial no es representativo (con respecto al requerimiento del recurso hídrico) dentro de la cuenca, destinándose a este sector 2.40 hm<sup>3</sup> de agua anual que representa el 0.69 % del volumen de extracción total

---

dentro de la cuenca; cabe mencionar que dicho volumen se obtiene de agua subterránea y no presenta déficit en la actualidad.

Como se muestra en la gráfica siguiente, la industria debe tener un crecimiento para los próximos años y, por lo tanto, aumenta el requerimiento del uso hídrico para este sector; no obstante, para el año 2050 se requerirá un volumen de 14.5 hm<sup>3</sup> que, aplicando métodos para el ahorro del recurso para el uso público y agrícola fácilmente se puede destinar el volumen necesario para el sector industrial sin necesidad de aumentar la extracción de agua.



Como se puede observar, para el caso de la industria no se presenta un problema para el abastecimiento del agua.

## 5.2. Bajo control en la contaminación de agua superficial.

De acuerdo a estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua, que se detalla en el capítulo 2.3.4 y 2.3.5 del presente documento, se tiene lo siguiente:

- ◆ Se considera que, en general, la calidad del agua es buena en la mayor parte de la cuenta ya que se presenta una calidad de excelente a aceptable; sin embargo, se tiene una zona de contaminación en los municipios de Atlatlahucan, Tlayacapan y Yautepec.
- ◆ La contaminación se debe a aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
- ◆ En la cuenca se cuenta con 5 plantas de tratamiento operando, con una capacidad instalada de 201.2 l/s del cual se tratan 47.2 l/s; además que, de acuerdo con el Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos,

---

Comisión Nacional del Agua, 2010, dentro de la cuenca se generan 703 l/s, por lo que se tiene un problema con el tratamiento de aguas residuales.

### **Líneas de acción**

- ◆ Realizar una evaluación de las plantas tratadoras de aguas residuales existentes en la cuenca para darles mantenimiento y/o repáralas para ponerlas en funcionamiento y tener una mayor cobertura de tratamiento del recurso hídrico.
- ◆ Realizar un estudio para determinar la ubicación apropiada en donde instalar plantas de tratamiento de aguas residuales y tratar el total de agua residual generada en la cuenca.

### **5.3. Existe un cierto grado de deficiencia en la gobernabilidad del agua.**

Dentro de la cuenca se cuenta con las instituciones y organizaciones adecuadas para la correcta gobernabilidad del agua superficial; se cuenta con un Comité de Cuenca y dependencias municipales correspondientes.

Para lo correspondiente a agua subterránea hace falta un Comité Técnico de Aguas Subterráneas que se encargue de lo relacionado al acuífero Cuautla-Yautepec.

### **5.4. Inundaciones recurrentes.**

Como se ha comentado, las planicies de inundación (zona federal) han sido invadidas por la urbanización y, por lo tanto, cuando se presenta una crecida del río se tienen diferentes daños que, en el caso de la cuenca del río Yautepec, son los siguientes:

Directos:

- Pérdidas de animales.
- Daños en bienes, viviendas, infraestructura de producción y servicios.
- Disminución de la capacidad productiva.
- Obstaculización del proceso de desarrollo.

Indirectos

- Menor producción o prestación de servicios derivados de la paralización parcial o total de los servicios.

- 
- Costos en los que se incurrió para la atención de la población afectada durante el periodo y fase de emergencia.

### **Líneas de acción:**

#### **5.4.1. Medidas no estructurales**

##### 5.4.1.1. Medidas preventivas

Las principales acciones no estructurales son generalmente del tipo preventiva como:

- Programas y planes para prevenir desastres naturales.

En México existen diversos programas a nivel nacional y estatal para prevenir desastres naturales, con los cuales se puede realizar un programa o plan específico para la cuenca del río Yautpec, algunos de dichos programas y planes ya desarrollados son:

- *Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012:* En su Eje No. 1.- Estado de derecho y seguridad, en su Objetivo No. 13 (garantizar la seguridad nacional y preservar la integridad física y el patrimonio de los mexicanos por encima de cualquier otro interés) se propone como estrategia 13.2 en el marco del Sistema Nacional de Protección Civil, fortalecer la concurrencia de las fuerzas armadas y de los gobiernos estatales y municipales en la preparación, ejecución y conducción de los planes de auxilio correspondientes. En corresponsabilidad con los gobiernos locales, el gobierno federal seguirá dando prioridad a los programas de Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), como el Plan DN-III y el plan de Marina, para acudir con la mayor celeridad a los lugares azotados por las fuerzas naturales. Se revisarán los procedimientos para asignar los recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) a las autoridades correspondientes y la entrega de apoyos a la población con la agilidad que ésta materia requiere.
- *Programa Nacional de Protección Civil 2008-2012:* principios, conceptos y criterios para establecer en forma sistemática la

---

integridad en la prevención y mitigación de los riesgos y desastres, así como la institucionalización de la continuidad de operaciones, de gobierno y del desarrollo nacional.

- *Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012*. Entre los objetivos que se establecen en el mismo se encuentra: Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológico y atender sus efectos.
- *Programas de Ordenamiento Ecológico*. En donde se encuentran el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional y el Programa de Ordenamiento Ecológico Local.
- *Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos*: El objetivo general del programa es el de contribuir a la disminución de los efectos negativos ocasionados por los desastres tanto en la población como en el territorio nacional, esto mediante acciones y obras de protección y mitigación en los asentamientos humanos.
- Sistemas de prevención y alerta de inundación.
- Zonificación de las áreas de riesgo de inundación. La zonificación debe establecerse en los planes o programas de desarrollo urbano respectivos, en la que se determinaran:
  - i. Las áreas que integran y delimitan los centros de población.
  - ii. Los aprovechamientos predominantes en las distintas zonas de los centros de población.
  - iii. Las densidades de población y de construcción.
  - iv. Las medidas para la protección de los derechos de vía y zonas de restricción de inmuebles de propiedad pública.
  - v. Las zonas de conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.
  - vi. Las reservas para la expansión de los centros de población.
- Seguro y protección individual contra inundación
- Realización de mapas de riesgo de inundación en las ciudades. Con la finalidad de identificar las posibles afectaciones la población, ya que

delimitan las áreas de inundación y permiten identificar zonas expuestas para así evaluar la afectación de daños potenciales.

- Modelos computacionales para la simulación de inundaciones. Estos modelos resuelven las ecuaciones que definen el comportamiento del fenómeno natural; se cuenta con modelos hidráulicos y modelos hidrológicos. Dentro de los hidráulicos se tienen modelos que analizan el comportamiento del flujo en una, dos y tres dimensiones.

#### 5.4.2. Medidas Estructurales

- ◆ Implementar obras de protección ecohidrológicas: esto se refiere a romper con la ingeniería tradicional en donde se emplean materiales artificiales como el concreto y productos nocivos al ambiente; utilizando una ingeniería blanda con materiales de origen orgánico que cumplan con la misma función que los materiales artificiales pero respetando el medio ambiente y preservando la funcionalidad del cauce. A continuación se muestra las diferencias entre la ingeniería convencional y la ingeniería ecológica (blanda):

Características	Ingeniería convencional	Ingeniería Ecológica
<b>Objetivos</b>	Uno	Múltiple
<b>Beneficios al ecosistema</b>	Bajo	Alto
<b>Materiales</b>	Obras civiles artificiales de concreto, acero y otro materiales	Características naturales de paisaje y acuáticas
<b>Procesos</b>	Regulados por el hombre	Naturales, autorregulados
<b>Clima y paisaje</b>	Relativamente poco importante	Crítico
<b>Vida útil</b>	Relativamente corta	Relativamente larga
<b>Ejecución</b>	Controlada	Flexible, variable
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	Alto	Medio

---

---

<b>Uso de suelo, afectaciones</b>	Bajo	Alto
---------------------------------------	------	------

Fuente: Roberto Mejía-Zermeño especialista del IMTA.

- ◆ Presas reguladoras
- ◆ Drenaje pluvial: En los sistemas de drenaje pluvial se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque también pueden existir conexiones domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios. En los sumideros se coloca una rejilla o coladera para evitar el ingreso de objetos que obstruyan los conductos, por lo que son conocidas como coladeras pluviales.

### **5.5. Limitaciones en la disponibilidad del agua.**

Mediante el estudio hidrológico realizado en el presente documento (capítulo 3.1) se determinó que en la cuenca se tiene una disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca de 58.00 hm<sup>3</sup> y una disponibilidad de agua subterránea de 8.84 hm<sup>3</sup> en la cuenca, por lo que no se tiene un problema de disponibilidad de agua.

### **5.6. Baja productividad agrícola.**

El sector agrícola utiliza el 85% del agua superficial que se extrae en la cuenca y, en contraste, el Comité de Cuenca afirma que se tiene una baja productividad agrícola por lo que se tiene que realizar un estudio sobre la situación agrícola en la cuenca para definir la productividad y, en caso de necesitarlo, aumentarla.

El clima subhúmedo que se presenta en la cuenca favorece el cultivo del maíz, caña de azúcar, sorgo y maguey tequilero entre otros, lo cual se debe impulsar dentro de la cuenca, eligiendo el cultivo más idóneo de acuerdo al clima que se presenta. En la tabla siguiente se presentan algunos cultivos recomendados para cada tipo de clima que se presenta en la cuenca del Río Yautepec:

<b>Tipos de cultivos recomendados para la Cuenca del Río Yautepec</b>	
<b>Clima</b>	<b>Tipo de cultivo recomendado</b>
<b>Cálido subhúmedo</b>	Maíz, frijol, sorgo, tabaco, arroz, sandía, cacahuate, jitomate, chile seco, la caña de azúcar, café, mango, plátano, aguacate, nopal, limón, pepino,

---

---

	cebolla, jícama, chile serrano.
<b>Templado subhúmedo</b>	Maíz, haba, frijol, lechuga, espinaca, amaranto, alfalfa, ajo, cebolla, col, entre otros.

**5.7. En el cauce se presenta arrastre y depósito de sedimentos, basura, falla de taludes e invasión a zonas federales.**

La invasión a zonas federales (que coincide con el área de inundación del río) puede provocar inundaciones, como se ha mencionado anteriormente; por lo que es recomendable no ocuparlas, además que se tiene que realizar una limpieza al río para quitar los sedimentos naturales y artificiales (en su mayoría basura) que se depositan a lo largo del cauce e interfieren con el flujo natural del cauce.

## **Capítulo VI**

### **“Conclusiones y recomendaciones”**

Se debe continuar con el desarrollo del Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Yautepec para la solución de la problemática que se presenta en la misma, cuyas bases están mostradas en el presente documento y, al concluirlo, será una herramienta fundamental para la toma de decisiones en la cuenca.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el presente estudio, así como las recomendaciones a seguir para continuar con el estudio:

Resultados:

### Propuestas para resolver las necesidades o problemáticas

En el capítulo V se muestra la problemática dentro de la cuenca, dando como resultado:

Problemática	Conclusión	Recomendación
<b>Elevado consumo y desperdicio del recurso hídrico</b>	<i>Uso público urbano</i>	Se presenta una sobreextracción del agua de 19.77 hm <sup>3</sup> /año y, con esta tendencia se tendrá problemas de disponibilidad del agua para el año 2035.
	<i>Uso agrícola</i>	No se presenta un problema para el abastecimiento de agua.
	<i>Uso industrial</i>	No se presenta un problema para el abastecimiento del agua.
<b>Bajo control en la contaminación de agua superficial.</b>	En general, la calidad del agua es buena, con algunos focos de contaminación que se deben tratar particularmente.	Realizar una evaluación de las plantas tratadoras de aguas residuales existentes en la cuenca para darles mantenimiento y/o repáralas para ponerlas en funcionamiento y tener una mayor cobertura de tratamiento del recurso hídrico. Realizar un estudio para

Problemática	Conclusión	Recomendación
		determinar la ubicación apropiada en donde instalar plantas de tratamiento de aguas residuales y tratar el total de agua residual generada en la cuenca.
<b>Existe un cierto grado de deficiencia en la gobernabilidad del agua.</b>	Se cuenca con instituciones y organizaciones adecuadas para la administración del agua superficial.	Implementar un Comité Técnico de Aguas Subterráneas para el acuífero Cuautla-Yautepec.
<b>Inundaciones recurrentes.</b>	Se presentan inundaciones debido a diversos factores mencionados en el presente documento.	Hacer un estudio de las medidas estructurales y no estructurales sugeridas en el presente documento para determinar la más conveniente para la cuenca. Se recomienda el desarrollo de un modelo para la simulación del río en los puntos de inundación de la cuenca,
<b>Limitaciones en la disponibilidad del agua.</b>	Se tiene una disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca de 58.00 hm <sup>3</sup> y una disponibilidad de agua subterránea de 8.84 hm <sup>3</sup> en la cuenca, por lo que no se tiene un problema de disponibilidad de agua.	
<b>Baja productividad agrícola.</b>	El sector agrícola utiliza el 85% del agua superficial que se extrae en la cuenca y, en contraste, el Comité de Cuenca afirma que se tiene una baja productividad	Realizar un estudio sobre la situación agrícola en la cuenca para definir la productividad y, en caso de necesitarlo, aumentarla

---

Se recomienda realizar los estudios y analizar las acciones que se enlistan a continuación para concluir el presente documento:

- ◆ Eliminar y disminuir fugas
  - Verificar y, en su caso, corregir la instalación de cada toma domiciliaria
  - Detectar fugas en el sistema y repararlas
  - Realizar campañas para el cuidado del agua
  - Implementación de sistemas de micromedición
- ◆ Tecnificación del campo de acuerdo al costo-beneficio
- ◆ Analizar cuál tipo de cultivo es el más conveniente de acuerdo al clima y requerimiento de agua
- ◆ Tarifas reales
- ◆ Multas en caso de incumplimiento en pagos del servicio de agua o por desperdiciar el agua.
- ◆ Aplicar medidas para la prevención de inundaciones:
  - Programas y planes para prevenir desastres naturales
  - Sistemas de prevención y alerta de inundación
  - Seguro y protección individual contra inundación
  - Realización de mapas de riesgo de inundación en las ciudades
  - Modelos computacionales para la simulación de inundaciones.
  - Implementar obras de protección ecohidrológicas, como por ejemplo:
    - En el área de inundación del río (para permitir fluir el agua sin afectaciones), tales como jardines o canchas que, en caso de desbordamiento del río permitan fluir el agua sin daños a terceros.
    - Aguas arriba de las zonas de afectación actual que, en lugar de presas, sirvan como rompepicos naturales.
  - Presas reguladoras. En caso de no utilizar medidas de protección ecohidrológicas debido a su costo de mantenimiento e implementación, otra medida puede ser implementar presas para regular avenidas superiores a la capacidad hidráulica del río en zonas pobladas para así evitar inundaciones en zonas urbanas.
  - Sistemas de drenaje pluvial urbano en las poblaciones con problemas de inundación.

- 
- Analizar la ubicación de las estaciones meteorológicas e hidrométricas actuales e instalar las necesarias para un mejor funcionamiento; ya que en la salida de la cuenca del Río Yautepec no se cuenta con una estación hidrométrica; la instalación de estaciones en la ubicación correcta tendría como resultado:
    - ◆ Realizar un estudio hidrológico con el método directo
    - ◆ Disminuir el tiempo para el llamado de emergencia aguas abajo de la estación en caso de grandes avenidas.

---

## Bibliografía

- Programa hídrico visión 2030 del Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, 2010, serie: Planeación Hidráulica en México, componente: Planeación regional y estatal, septiembre de 2010, CONAGUA
- Atlas del agua en México 2011, Comisión Nacional del Agua
- Plan operativo de inundación de la ciudad de Yautepec, Morelos, Organismo de Cuenca Balsas, Dirección local de Morelos, Brigada de protección a la infraestructura y atención de emergencias, agosto 2011
- Censo de Población y Vivienda 2010 INEGI
- Estadísticas del agua en México, edición 2011”, Comisión Nacional del Agua
- Plan Municipal de Desarrollo de Yautepec, Zaragoza, Morelos 2009-2012
- Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas, 2010, Organismo de Cuenca Balsas, Comisión Nacional del agua, diciembre de 2010
- Programa Estatal de Desarrollo Urbano 2007-2012, Secretaria de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, Subsecretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda, Gobierno del estado de Morelos
- Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación, diciembre 2009, Comisión Nacional del Agua
- Boletín CONAGUA protección contra inundaciones, Organismo de Cuenca Balsas, Comunicación Social, 1 de marzo de 2011
- “Estudio de Aprovechamiento Hidráulico Integral y de Control de Inundaciones en el Río Yautepec (Municipios de Yautepec, Tlatizapán, Tlaquiltenango y Jojutla), en el Estado de Morelos”. CEAMA, 2005
- Fundamentos de hidrología superficial, Francisco J. Aparicio M., Limusa
- “De Cuautla Interdiario” artículo: “Desazolvan barrancas de Tlayacapn; evitarán inundaciones. 18 de mayo de 2011
- Gestión Integrada de los recursos hídricos en México, CONAGUA, Veracruz, 2006

- 
- Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas, IMTA
  - Procesos del ciclo hidrológico. Tercera edición. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Campos Aranda, D.F. 1998.
  - Leopold, Luna B., Wolman, M.G., and Miller, J.P., 1964, Fluvial Processes in Geomorphology, San Francisco, W.H. Freeman and Co., 522p.
  - Mueller, Jerry (1968). «An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes1». Annals of the Association of American Geographers
  - El futuro del sector agropecuario en México basada en 'Nueva Visión de Agricultura', Foro Global Agroalimentario 2012
  - México: El sector agropecuario ante el desafío del Cambio Climático, Volumen 1, SAGARPA, 2012
  - Hidráulica de canales, Gilberto Sotelo Ávila, México, UNAM, facultad de ingeniería, 2001
  - Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2007
  - El futuro del sector agropecuario en México basada en 'Nueva Visión de Agricultura', Foro Global Agroalimentario 2012

[http://www.e-](http://www.e-geoconsulting.com/mapping/index.php?option=com_content&view=article&id=298:sociedad-y-desarrollo-sustentable-de-la-microcuenca-del-rio-yautepec-mor&catid=52:edicion-5-2011)

[geoconsulting.com/mapping/index.php?option=com\\_content&view=article&id=298:sociedad-y-desarrollo-sustentable-de-la-microcuenca-del-rio-yautepec-mor&catid=52:edicion-5-2011](http://www.e-geoconsulting.com/mapping/index.php?option=com_content&view=article&id=298:sociedad-y-desarrollo-sustentable-de-la-microcuenca-del-rio-yautepec-mor&catid=52:edicion-5-2011)

Mapas de climas del INEGI:

<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/mor/clim.cfm?c=444&e=16>

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/edomex/clim.cfm?c=444&e=05>

[http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/df/climas\\_map.cfm?c=444&e=09](http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/df/climas_map.cfm?c=444&e=09)

[http://solgeo.inegi.org.mx/mapoteca/frames.html?layer=100&map=%2Fvar%2Fwww%2Fhtdocs%2Fmapoteca%2Fmap\\_dig\\_cuentame2.map&program=%2Fcgi-](http://solgeo.inegi.org.mx/mapoteca/frames.html?layer=100&map=%2Fvar%2Fwww%2Fhtdocs%2Fmapoteca%2Fmap_dig_cuentame2.map&program=%2Fcgi-bin%2Fmapserv&root=%2Fmapoteca&map_web_imagepath=%2Fvar%2Fwww%2Fhtdocs%2Fms_tmp%2F&map_web_imageurl=%2Fms_tmp%2F&box=false&drag=true)

[bin%2Fmapserv&root=%2Fmapoteca&map\\_web\\_imagepath=%2Fvar%2Fwww%2Fhtdocs%2Fms\\_tmp%2F&map\\_web\\_imageurl=%2Fms\\_tmp%2F&box=false&drag=true](http://solgeo.inegi.org.mx/mapoteca/frames.html?layer=100&map=%2Fvar%2Fwww%2Fhtdocs%2Fms_tmp%2F&map_web_imageurl=%2Fms_tmp%2F&box=false&drag=true)

<http://www.bionero.org/sociedad/agua-del-rio-balsas-reservada-para-generar-energia-queda-libre-para-uso-humano>

---

<http://es.scribd.com/doc/37731211/Cuenca-Hidrografica-5-clase-7>  
Ley de Aguas Nacionales 2012:  
<http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/15/3.htm?s=>  
[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/VEDAS\\_SUPERFICIALES\\_INTERNE\\_REPDA.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/VEDAS_SUPERFICIALES_INTERNE_REPDA.pdf)  
[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Generico/Vedas\\_Superficiales/Acuerdos/108.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Generico/Vedas_Superficiales/Acuerdos/108.pdf)  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/InfoEscala.aspx>  
[http://www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/clima/CLIMATIII.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/clima/CLIMATIII.pdf)  
[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75)  
<http://es.scribd.com/doc/52603919/La-Cuenca-Hidrografica>  
[http://hidrologia.usal.es/Complementos/Medida\\_pendiente.pdf](http://hidrologia.usal.es/Complementos/Medida_pendiente.pdf)  
<http://es.scribd.com/doc/106026956/CALCULAR-PENDIENTE-MEDIA-DE-LA-RED-HIDRICA-DE-UNA-CUENCA-EN-ARCGIS>  
Anuario estadístico:  
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee12/estatal/mor/default.htm>  
[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)  
<http://columnastabasco.blogspot.mx/2011/03/pais-conagua-lanza-nueva-campana-para.html>  
<http://www.teorema.com.mx/agua/lanzan-campana-para-cuidar-el-agua/>  
<http://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NOM-002-CNA-1995.pdf>  
<http://www.hoytamaulipas.net/notas/60350/Se-desperdicia-el-40--del-agua-potable-CNA.html>  
<http://www.libertad-oaxaca.info/tiempo-economico/19896-expectativas-de-crecimiento-del-sector-industrialisaac-leobardo-sanchez-juarez.html>  
[http://www.incidenciapolitica.info/biblioteca/ECAM\\_Riego\\_Produccion\\_2.pdf](http://www.incidenciapolitica.info/biblioteca/ECAM_Riego_Produccion_2.pdf)

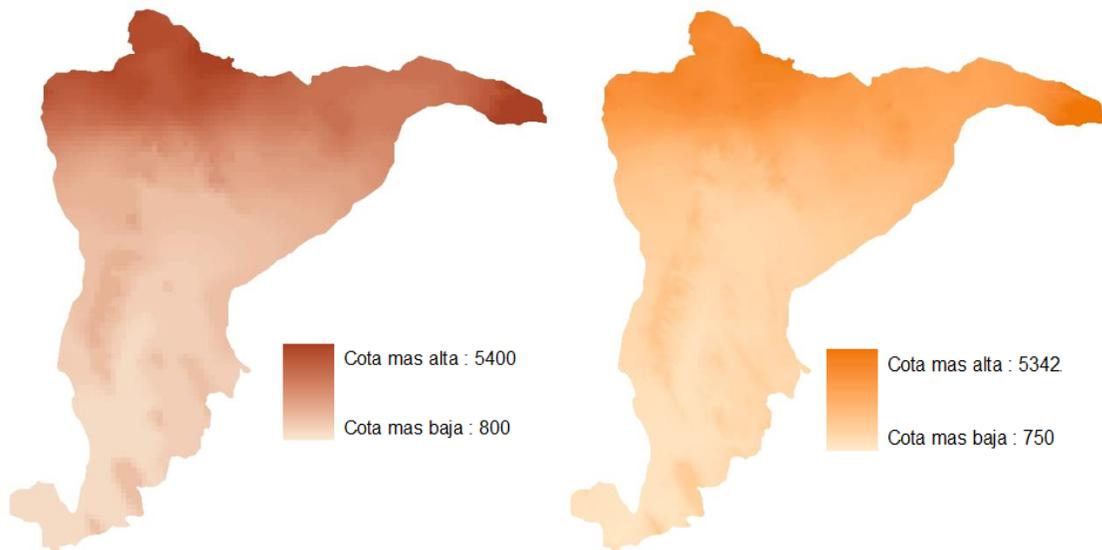
---

## Anexos

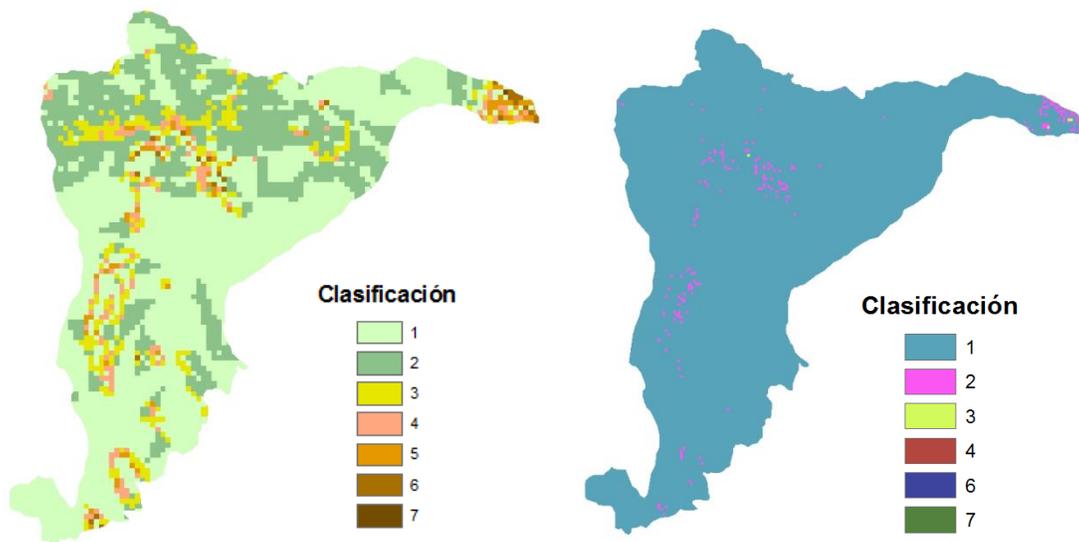
### ANEXO 1. Determinación de la pendiente media de la cuenca

Existen diversos métodos para la determinación de la pendiente media de una cuenca, en este caso se realizará el cálculo utilizando un programa SIG, el arcmap, con un modelo digital del terreno obtenido mediante curvas de nivel.

El trabajo se realizó con las curvas de nivel que proporcionó el INEGI (curvas de nivel con escala 1:1'000,000 a cada 200 metros) y las obtenidas desde Google earth (curvas de nivel a cada 10 metros).



Raster de elevaciones (curvas de nivel del INEGI)    Raster de elevaciones (curvas de nivel de Google Earth)



Donde se tiene la siguiente tabla para la interpretación de las figuras anteriores:

Clasificación	Pendiente (%)	Tipo
1	< 5	Plano
2	5 - 12	Ligeramente ondulado
3	12 – 18	Ondulado
4	18 – 24	Fuertemente ondulado
5	24 – 32	Escarpado
6	32 – 44	Fuertemente escarpado
7	> 44	Montañoso

Ya con los modelos digitales de elevaciones (raster) se obtienen los siguientes resultados por medio de Arcmap:

Resultados para la pendiente media de la cuenca		
	INEGI	Google Earth
<b>Clasificación</b>	1.6 ≈ 2	1.01
<b>Pendiente (%)</b>	5-12	< 5
<b>Tipo</b>	Ligeramente ondulado	Plano

Para ambos casos se tiene que la cuenca cuenta con poca pendiente, lo que la hace susceptible a inundaciones debido a la presencia de terrenos inundables (terrenos planos o ligeramente ondulados adyacentes a ríos o arroyos). Se utilizaron las dos fuentes para corroborar valores, pero en este documento se tomará como correcto el valor obtenido con las cartas proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

## **ANEXO 2. Polígonos de Thiessen**

Con este método la precipitación media se calcula como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

---

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

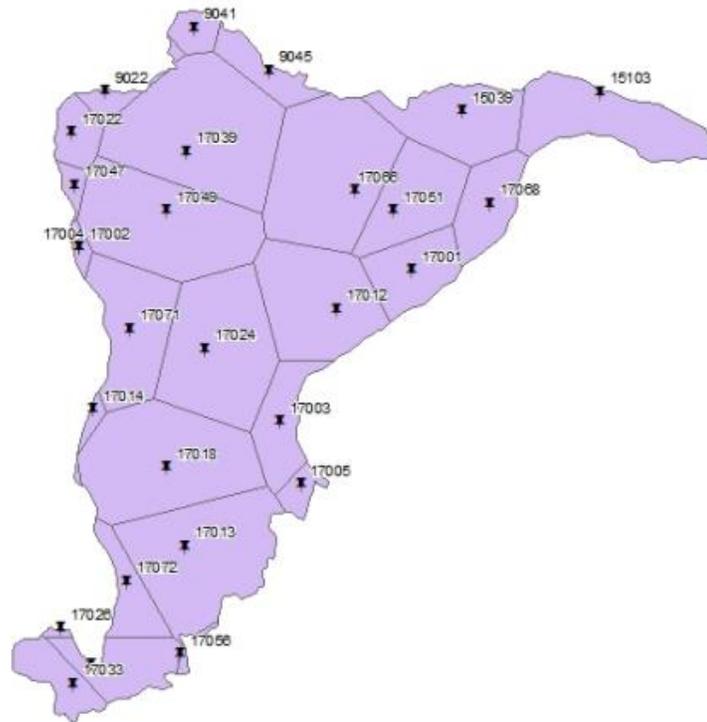
donde

$A_i$  es el área de influencia de la estación  $i$

$A_T$  es el área total de la cuenca

En la tabla siguiente se muestra los resultados de la precipitación media anual por año, con datos de las estaciones climatológicas con registros desde el año 1990 hasta el 2011. Los datos faltantes en algunas estaciones climatológicas de algún año fueron determinadas aplicando el método inverso de la distancia al cuadrado.

De donde la precipitación media para la cuenca del río Yautepec es: **1124.5 mm** (siendo este el promedio de las precipitaciones medias anuales desde el año 1990 hasta el 2011, como marca la NOM-011)



			Precipitación por estación hp (mm)																					
			Año																					
Est.	Ai (km <sup>2</sup> )	PA (%)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
15103	87.3	5.45	1210	1056	1226	944	764	1298	991	901	837	954	729	1307	964	1383	1382	1454	1462	1403	1361	1601	1741	1299
17001	48.5	3.03	1272	790	615	621	576	1024	1008	785	1265	1187	870	1462	1253	1077	1055	825	1040	1002	1037	1116	1625	1185
17012	103.7	6.48	1076	887	983	861	660	1010	958	910	939	1041	757	1154	978	1292	1171	695	1034	1054	1065	1028	1169	1123
17013	134.0	8.37	1082	943	552	770	807	1352	903	1089	1223	892	728	892	926	1221	1181	656	851	781	931	1044	1053	757
17018	140.9	8.81	1172	1175	1204	868	772	1260	951	774	1171	953	767	1249	895	1080	1136	737	897	841	996	998	1128	951
17024	125.7	7.85	952	758	892	895	690	1167	859	866	1000	1101	699	1030	962	1129	1030	768	847	1199	1130	985	1142	1073
17031	44.9	2.80	1023	651	680	644	825	834	526	763	832	1005	577	981	934	1003	934	655	678	784	1047	949	884	625
17033	32.1	2.01	839	767	821	592	770	1011	708	844	808	1084	728	909	834	822	839	658	717	872	1139	960	975	626
17039	160.0	9.99	1929	1611	1637	1671	1502	1516	1504	1363	1867	1473	1546	1576	1695	1701	1619	1360	1051	1352	1855	1652	2021	1777
17049	132.9	8.30	1631	1349	1432	1180	1050	1285	1271	1227	1614	1360	1293	1408	1573	1593	1346	1121	1377	1248	1645	1368	1884	1799
17051	66.8	4.17	1294	1167	1127	1168	803	1314	945	909	1132	1232	1337	1249	1479	1202	1407	873	1120	1010	1012	1110	1705	1341
17066	138.0	8.62	1309	1189	1088	1095	822	1288	1006	884	1570	1207	1198	1243	1290	2255	660	997	1120	1760	630	1152	1576	1328
17071	80.5	5.03	1126	1037	1134	738	674	1152	696	1150	1297	1217	985	1048	1225	1385	1326	948	1102	1165	1294	1119	1359	1237
9022	13.0	0.81	1507	1093	1439	2651	1011	1287	1095	1616	1617	1497	1451	1604	1340	1475	2162	1722	1933	1497	1167	348	1141	1661
9041	14.9	0.93	1249	1102	1319	1627	712	1147	989	1124	1185	801	942	1087	982	1028	280	866	1241	898	959	675	132	1711
9045	27.1	1.69	725	698	1072	534	101	863	481	635	203	787	784	887	936	955	579	564	893	752	642	653	717	1567
15039	71.9	4.49	1168	1050	1161	922	627	1205	862	778	732	765	527	562	862	836	1065	578	1092	780	914	868	1243	1335
17004	6.3	0.39	1496	1276	1362	1122	1109	1792	1110	1248	1767	1376	1096	1303	1384	1487	1513	1146	1328	1278	1694	1285	1663	1432

**Precipitación por estación hp (mm)**

**Año**

Est.	Ai (km <sup>2</sup> )	PA (%)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
17003	43.7	2.73	1030	859	1077	656	490	937	723	903	788	955	658	967	1027	1071	825	780	638	751	766	1033	839	901
17005	12	0.75	1061	819	935	698	557	887	890	887	774	917	687	769	735	794	938	834	647	805	782	988	1092	830
17014	6.3	0.39	1166	1175	1056	872	725	1263	830	871	1058	1023	983	995	1090	1299	1125	811	1052	909	1298	1099	1228	954
17022	23.1	1.44	1887	1338	1648	1627	1431	1205	1412	1538	1618	1412	1454	1650	1818	1727	1769	1403	1519	1377	1589	1289	1858	1604
17026	1.6	0.10	1124	803	893	692	755	1129	748	957	872	1000	634	953	798	906	968	663	820	900	1066	1007	903	649
17047	7.8	0.49	1882	1385	1650	1594	1467	1848	1520	1571	1587	1377	1444	1674	2018	1911	1932	1590	1886	1716	1601	1437	2087	1581
17056	1.95	0.12	867	634	747	477	803	1086	783	990	1360	878	495	1168	779	785	1103	734	743	929	815	1037	760	694
17068	44.7	2.79	1272	1064	1323	978	966	1434	1181	1084	992	1232	1028	1201	1114	1197	1124	934	1284	1027	1197	1040	1616	1247
17072	31.1	1.94	703	1015	949	795	758	1233	840	915	887	908	857	1095	879	905	472	457	987	965	1075	1045	1065	851
A <sub>T</sub> =Σ	1600.8	100.0																						
<b>Precipitación media anual, hp, (mm):</b>			1262.7	1085.3	1116.5	1005.7	846.4	1235.5	997.1	996.5	1214.1	1118.0	963.1	1181.8	1166.9	1347.2	1157.3	917.2	1057.3	1120.4	1160.6	1148.0	1400.7	1240.3

Nota: Por cuestión de espacio en el presente trabajo los datos de la precipitación se redondearon; sin embargo, para el cálculo fue considerado con sus respectivos decimal

