



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE MORELIA Y SU IMPACTO
SOCIAL Y AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

GERSAÍN QUIAHUA ALAMILLO

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DRA. PATRICIA ÁVILA GARCÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD. UNAM.**

**COMITÉ TUTOR: DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD. UNAM.**

**DRA. MARISA MAZARI HIRIART.
INSTITUTO DE ECOLOGÍA. UNAM.**

Morelia, Michoacán.

Agosto 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE MORELIA Y SU IMPACTO
SOCIAL Y AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

GERSAÍN QUIAHUA ALAMILLO

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DRA. PATRICIA ÁVILA GARCÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD. UNAM.

COMITÉ TUTOR: DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD. UNAM.

DRA. MARISA MAZARI HIRIART.
INSTITUTO DE ECOLOGÍA. UNAM.

Morelia, Michoacán.

Agosto 2016.

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día 03 de junio de 2016, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Biológicas**, al alumno **QUIAHUA ALAMILLO GERSAIN**, con número de cuenta **512027436**, con la tesis titulada, "**Manejo de aguas residuales en la ciudad de Morelia y su impacto social y ambiental en la cuenca del Lago de Cuitzeo**", bajo la dirección de la **Dra. Patricia Ávila García**:

Presidente: Dr. Raúl García Barrios
Vocal: Dr. Luis Zambrano González
Secretario: Dr. José Manuel Maass Moreno
Suplente: Dra. Marisa Mazari Hiriart
Suplente: Dr. Fermin Pascual Ramírez

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 07 de junio de 2016

M. del Coro Ariz

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES:

Quiero agradecer al Posgrado en Ciencias Biológicas y al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas (IIES) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por brindarme la gran oportunidad de poder realizar un estudio de posgrado en mi carrera profesional.

Agradezco el apoyo económico recibido a través de la beca CONACYT durante los semestres que duro la maestría, apoyo sin el cual no habría sido posible lograr esta tesis.

Agradezco también a cada uno de los miembros del Comité Tutorial, a la Dra. Patricia Ávila García por haber dirigido acertadamente este trabajo de investigación, al Dr. José Manuel Maass Moreno por sus valiosos aportes y comentarios y a la Dra. Marisa Mazari Hiriart, por sus atinadas observaciones y palabras de apoyo durante la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES:

Agradezco al resto de los miembros del comité tutorial, Dr. Luis Zambrano Gonzales y el Dr. Fermín Pascual Ramírez que leyeron este trabajo de investigación y aportaron sus valiosas observaciones y comentarios para mejorarlo.

Agradezco a todos los miembros del laboratorio de Ecología Política y Sociedad que estuvieron presentes en este proceso de elaboración de tesis.

También agradezco a las personas de la comunidad de Uruetaro en donde realice trabajo de campo, a los agricultores del módulo III de Álvaro Obregón especialmente al personal administrativo de ese modulo pues con su valioso apoyo técnico logre conocer más de cerca las actividades agrícolas de ese modulo, agradezco sinceramente a los vecinos de Atapaneo, a los pescadores de Chehuayo Grande y Chehuayito que aportaron sus comentarios amistosamente sobre su situación.

Y finalmente a mi familia, especialmente a mi papa Demetrio y mi mama Gudelia por el gran apoyo económico, moral y emocional que me brindaron durante esta última etapa para la culminación de la tesis.

INDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPITULO 1 INTRODUCCION	13
1.1 El problema	13
1.2 Objetivos	16
1.3 Aproximación conceptual y metodológica	17
CAPITULO 2 ASPECTOS BIOFÍSICOS DE LA CUENCA	25
2.1 Cuenca del lago de Cuitzeo	25
2.2 Los ríos en la cuenca	28
2.3 El lago de Cuitzeo	31
2.4 Balance hídrico de la cuenca	33
2.5 Reflexión capitular	40
CAPITULO 3. MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA	41
3.1 Sociedades (urbana y rural) de la cuenca	42
3.2 Fuentes de abastecimiento de agua en la cuenca	46
3.2.1 Fuentes subterránea	46
3.2.2 Fuentes superficiales	49
3.3 La ciudad de Morelia: uso urbano e industrial del agua	53
3.4 Planta de tratamiento de aguas residuales de Morelia	57
3.5 Zona rural de la cuenca baja: Uso del agua en la agricultura y pesca	60
3.6 Reflexión capitular	68
CAPITULO 4. IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL	70
4.1 Impactos ambientales del agua residual en la cuenca	72
4.1.1 Estado actual del Río Grande	72
4.1.2 Impactos en el lago de Cuitzeo	79
4.2 Impactos sociales del agua residual en la cuenca.	82
4.2.1 El caso de la comunidad de Uruétaro.	83
4.2.2 Módulo III del Distrito de Riego 020	87
4.2.3 Pescadores en el lago de Cuitzeo.	91
4.3 Reflexión capitular	96
CAPITULO 5. ESTADO Y POLÍTICAS PÚBLICAS DEL AGUA EN LA CUENCA	98
5.1 Un acercamiento a la noción del Estado.	98
5.2 Estado visible: Marco normativo del agua, ambiental y urbana.	99
5.3 Estado no visible: Problemática socio ambiental.	107
5.4 Políticas de urbanización versus políticas del agua y ambientales.	111
5.5 Reflexión capitular	116
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES GENERALES	118
Bibliografía	123
ANEXOS	134

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Metabolismo urbano del agua.	15
Figura 2. Subsistemas que integran al sistema complejo de estudio.	19
Figura 3. Proceso de la investigación.	24
Figura 4. Ubicación geográfica de la cuenca de Cuitzeo.	27
Figura 5. (◆) Río Grande y (♦) Chiquito a su paso por la ciudad de Morelia.	29
Figura 6. (♦) Río Queréndaro en la cuenca de Cuitzeo.	30
Figura 7. Lago de Cuitzeo.	32
Figura 8. Climograma de la cuenca baja. Periodo 1985-2010.	36
Figura 9. Climograma de la cuenca alta. Periodo 1985-2010.	36
Figura 10. Balance Hídrico de la cuenca baja. Periodo 1985-2010.	38
Figura 11. Balance Hídrico de la cuenca alta. Periodo 1985-2010.	39
Figura 12. División política de la cuenca del lago de Cuitzeo.	42
Figura 13. Localización de Morelia, Tarímbaro y Álvaro Obregón.	45
Figura 14. Ubicación de fuentes de extracción de agua subterránea.	48
Figura 15. Manantial La Mintzita.	49
Figura 16. Presa Cointzio.	50
Figura 17. Plantas potabilizadoras de la Mintzita y Santa María.	51
Figura 18. Ubicación de fuentes de agua superficial.	52
Figura 19. Agua concesionada para uso urbano, empresa papelera y otros sectores.	54
Figura 20. Aguas residuales en el municipio de Morelia.	54
Figura 21. Localización de la empresa papelera, aguas arriba de Morelia.	55
Figura 22. Descarga de la empresa papelera al Río Grande.	56
Figura 23. Planta Tratadora en el ejido de Atapaneo, Morelia.	58
Figura 24. Planta Tratadora de Aguas Residuales de Atapaneo.	58
Figura 25. Punto de “saneamiento” del Río Grande con agua de la PTAR.	59
Figura 26. Ubicación del módulo III en el DR 020 Morelia – Queréndaro.	61
Figura 27. Río Grande de Morelia derivado para riego.	64
Figura 28. Uso y manejo del agua en la ciudad de Morelia.	68
Figura 29. Ruta del Río Grande hasta el lago de Cuitzeo.	71
Figura 30. Aspecto del Río Grande a su paso por la ciudad de Morelia.	73
Figura 31. Comportamiento de DBO5 en el del Río Grande.	76
Figura 32. Comportamiento de DQO en el del Río Grande.	76
Figura 33. Puntos de monitoreo de la CONAGUA en el Río Grande.	77
Figura 34. La falta de servicios básicos incrementan los problemas del lago.	80
Figura 35. Entre tule y la necesidad de tierras, el lago pierde terreno.	82
Figura 36. Aspecto del Río Grande en San Juanito Itzicuaró.	83
Figura 37. Canal Joconoles en la comunidad de Uruétaro.	84
Figura 38. Canal pasando la comunidad de Uruétaro entre calles y casas.	85
Figura 39. Planta tratadora en fraccionamiento de Tarímbaro, fuera de servicio.	87
Figura 40. Solo se les ha permitido cultivar forrajes.	88
Figura 41. Canal en el módulo III con las aguas residuales de Morelia.	90
Figura 42. Campos en el módulo III regados con aguas residuales.	91
Figura 43. Pescadores atrapados entre el Tule y la eutrofización del Lago.	92
Figura 44. Ubicación Cheguayito, Álvaro Obregón.	93

Figura 45. Pescando entre la contaminación, lirio y nulo apoyo institucional.	93
Figura 46. Abandono institucional al sector pesquero de la cuenca.....	95
Figura 47. Jerarquía de las políticas públicas en la cuenca	112
Figura 48. Proyecto de metropolización de la cuenca.....	115
Figura 49. Sistema complejo de estudios y sus interacciones.	120
Tabla 1. Diferencias entre investigación cuantitativa y cualitativa.	21
Tabla 2. Parámetros generales de la cuenca del Lago de Cuitzeo.	26
Tabla 3. Estaciones normales climatológicas en la cuenca baja.....	35
Tabla 4. Estaciones normales climatológicas en la cuenca alta.....	35
Tabla 5. Balance Hídrico para la cuenca baja.....	37
Tabla 6. Balance Hídrico para la cuenca alta.....	37
Tabla 7. Población de los tres municipios en la cuenca.....	43
Tabla 8. Localidades del municipio de Morelia cercanas al Río Grande.....	43
Tabla 9. Localidades rurales del municipio de Tarímbaro.....	44
Tabla 10. Fraccionamientos del municipio de Tarímbaro.....	44
Tabla 11. Localidades del municipio de Álvaro Obregón.....	45
Tabla 12. Disponibilidad del acuífero Morelia-Queréndaro.....	46
Tabla 13. Calidad del agua del acuífero (1997).....	46
Tabla 14. Gasto de las fuentes de abastecimiento.....	49
Tabla 15. Aprovechamiento del agua por sectores en Morelia.....	53
Tabla 16. Parámetros a evaluar en descargas de la industria papelera.....	57
Tabla 17. Consumo de agua por sector.....	60
Tabla 18. Uso del suelo en los municipios de estudio.....	61
Tabla 19. Módulos de riego que forman el Distrito de Riego 020.....	62
Tabla 20. Cultivos y de agua utilizada en el módulo III (año 2014).....	63
Tabla 21. Usuarios y hectáreas del módulo III.....	64
Tabla 22. Organizaciones pesqueras del lago de Cuitzeo.....	66
Tabla 23. Producción ganadera en la cuenca.....	67
Tabla 24. Indicador de la calidad del agua. Parámetro DQO.....	74
Tabla 25. Indicador de la calidad del agua. Parámetro DBO5.....	74
Tabla 26. Calidad del agua del Río Grande en cuatro puntos.....	75
Tabla 27. Datos de DBO5 y DQ0 en Río Grande.....	75
Tabla 28. Parámetros de la calidad del agua del lago de Cuitzeo.....	79
Tabla 29. Objetivos del PNH 2007-2012.....	104
Tabla 30. Instituciones y leyes en México y en la cuenca.....	106
Tabla 31. Otras plantas de tratamiento en la cuenca.....	110
Tabla 32. Situación actual y futura del sistema complejo de estudio.....	121

RESUMEN

La cuenca del lago de Cuitzeo se localiza en el estado de Michoacán México, donde el centro de población más importante es la ciudad de Morelia, ubicada en la cuenca media. El crecimiento de la ciudad y de sus actividades industriales ha provocado en los últimos 40 años una serie de impactos socio-ambientales negativos, principalmente en la cuenca baja reflejados en el deterioro del ecosistemas de la cuenca y afectaciones al bienestar de las poblaciones rurales y sus actividades productivas.

Para entender esta problemática, es necesario analizar el metabolismo urbano de la ciudad respecto al uso y manejo del agua dentro de la cuenca: el agua que demanda la ciudad proviene de los ecosistemas boscosos (cuenca alta) que se almacena en fuentes superficiales y subterráneas, luego el agua se distribuye y aprovecha en la población urbana (actividades domésticas y de servicios) y en actividades económicas (industria papelera, principalmente) ubicadas en la cuenca media. Finalmente las aguas residuales que genera no reciben saneamiento adecuado y llegan a la cuenca baja a través del Río Grande, estas aguas se aprovechan en el Distrito de Riego 020 (DR-020) y finalmente alimenta al lago de Cuitzeo.

Los principales impactos ambientales se dan en el cauce Rio Grande donde se han reducido los nichos para especies animales y vegetales (aves, peces, microorganismos) y en el lago de Cuitzeo donde también han disminuido las especies animales y vegetales que alberga, por la mala calidad del agua proveniente de la ciudad de Morelia. Los impactos sociales se perciben en las poblaciones rurales que se asientan en las márgenes de los cales de aguas residuales al presentar problemas de salud de origen hídrico, también en el DR-020 existen estragos económicos debido a que se ha restringido el cultivo de verduras y legumbres con las aguas residuales y se tienen que cultivar otros (forrajes) de menor precio en el mercado. Finalmente el sector pesquero que se practica en el lago resulta impactado pues el producto que extraen es cada vez de menor calidad, debido a la situación ambiental de degradación en la que se encuentra en lago.

ABSTRACT

The basin of Lake Cuitzeo is located in the state of Michoacán Mexico, where the largest population center is the city of Morelia, located in the middle basin. The growth of the city and its industrial activities has resulted in the last 40 years a number of socio-environmental negative impacts, especially in the lower basin reflected in the deterioration of the basin ecosystems and disruption to the welfare of rural populations and their productive activities.

To understand this problem, it is necessary to analyze the urban metabolism of the city regarding the use and management of water within the basin: water demand the city comes from forest ecosystems (upper basin) that is stored in surface and groundwater sources, then the water is distributed and exploited in the urban population (domestic and service activities) and (paper industry, mainly) economic activities located in the middle basin. Finally wastewater generated do not receive adequate sanitation and reach the lower basin across the Rio Grande advantage in these waters Irrigation District 020 (DR-020) and finally feeds the lake Cuitzeo.

The main environmental impacts occur in the channel Rio Grande where they have reduced niches for plants and animals (birds, fish and microorganisms) species and Lake Cuitzeo which have also fallen animal and plant species houses for poor water quality from the city of Morelia. Social impacts are perceived in rural populations that settle on the banks of the limes wastewater to health problems Waterborne, also in the DR-020 are economic havoc because it has restricted the cultivation of vegetables and vegetables with sewage and have to grow other (fodder) lower market price. Finally the fishing industry practiced in the lake is impacted because the product is extracted increasingly lower quality due to environmental degradation situation in which it is in the lake.

1.- INTRODUCCION

1.1 El problema

La degradación de la calidad del agua (contaminación) en las últimas décadas se ha convertido en un problema socio-ambiental que se agudiza con los procesos de urbanización, que concentran la población urbana y actividades económicas secundarias y terciarias (industria, servicios) en un espacio limitado. En México la urbanización tuvo un fuerte impulso a partir de 1940, lo cual llevó a más de la mitad de la población mexicana a vivir en centros urbanos (ciudades). Actualmente se estima que esa población continuará en crecimiento trayendo aparejados diversos fenómenos sociales (pobreza urbana) y ambientales negativos (deterioro de ecosistemas); que en el caso del agua se expresarán en la sobreexplotación de mantos acuíferos y en la contaminación de ríos y lagos por el aumento de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales (UN, 1996; Barkin, 2006; Ávila, 2004).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el agua se convierte en agua residual cuando ya no tiene valor para el objetivo en el que se utilizó inicialmente debido a cambios en su calidad y cantidad. No obstante las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro a otros usuarios en otro lugar (FAO, 2013).

Los impactos sociales y ambientales provocados por las descargas de aguas residuales asociadas con la urbanización, se reflejan en el deterioro de los ecosistemas y afectación de los beneficios que brindan a las sociedades (Servicios Ecosistémicos); el aumento de los conflictos sociales tanto en zonas urbanas como rurales; y en la creciente vulnerabilidad a enfermedades de origen hídrico por la exposición a agua contaminada (Antón, 1996, MEA, 2006).

Desde la década de 1970 las problemáticas generadas por la contaminación del agua residual empezaron a ser reconocidos como temas de interés público, tanto en las agendas de política (internacional y nacional) como en la investigación científica. Ello llevó a que dos décadas después se plantearan propuestas novedosas para intervenir en estas problemáticas como: la gestión integrada de cuencas, la valoración económica del agua, pago por servicios

ambientales y una regulación ambiental acorde a los nuevos escenarios socio-ambientales (MEA, 2005; IPCC, 2007).

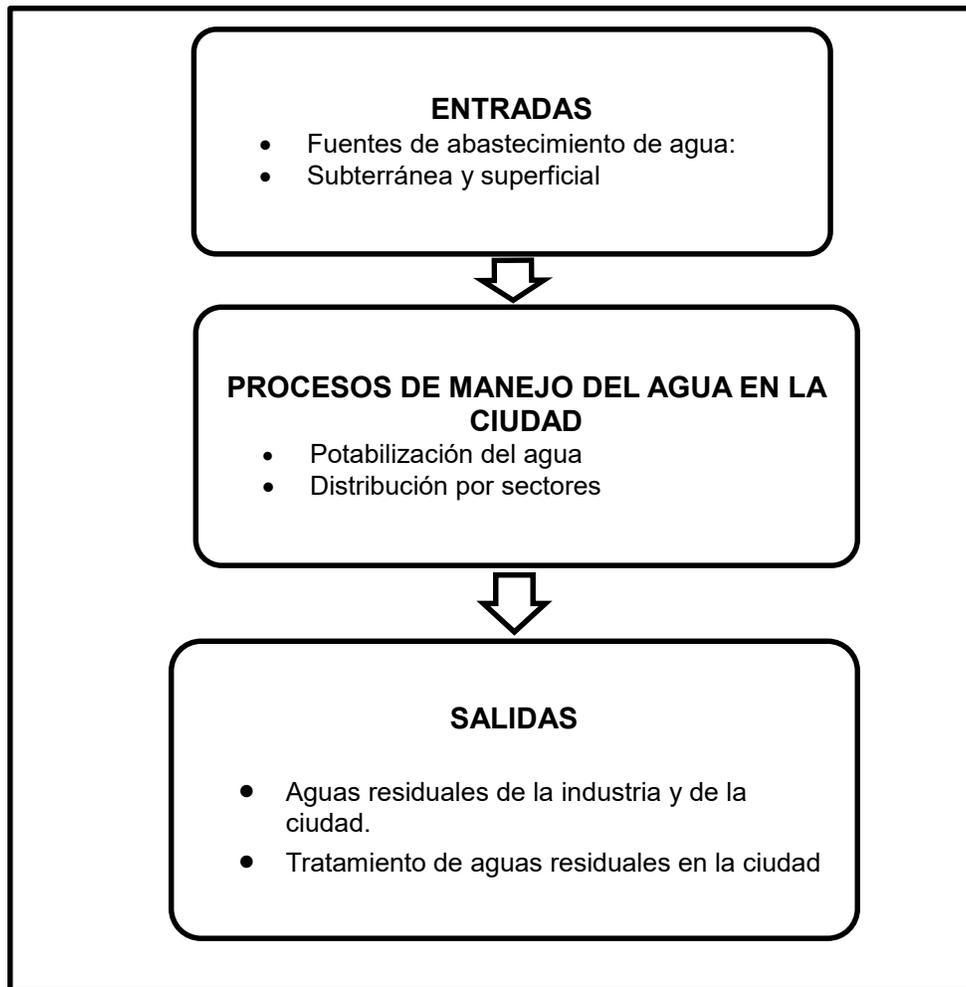
La presente investigación se enmarca en lo antes mencionado, pues busca aportar conocimiento sobre los impactos sociales y ambientales que ocurren en una cuenca generada por las aguas residuales que desechan los centros urbanos e industrias. El área de estudio es la cuenca del lago de Cuitzeo localizada en el estado de Michoacán en México, donde se localiza un importante centro de población urbano como la ciudad de Morelia.

El crecimiento de la población y de las actividades industriales en la ciudad de Morelia ha provocado que en los últimos 40 años se presenten impactos negativos en toda la cuenca: como el deterioro del ecosistema lacustre del Lago de Cuitzeo y las afectaciones al bienestar de las poblaciones rurales que se asientan en la cuenca baja. Lo anterior debido a que las aguas residuales de Morelia son una mezcla de aguas de origen doméstico e industrial, estas últimas provenientes de la industria de la celulosa (papelera Kimberly Clark de México-Planta Morelia), las cuales no son saneadas adecuadamente y llegan a ser utilizadas en actividades como la agricultura y la pesca.

La ciudad de Morelia es vista como el metabolismo de un organismo vivo que intercambia agua con su entorno natural y rural, la cual proviene de los bosques en la cuenca alta y las aguas residuales que genera (en la cuenca media) son aprovechadas en la cuenca baja.

Esta forma de ver a la ciudad permite conocer el manejo que hace del recurso hídrico: que va desde su extracción en los ecosistemas, su distribución en los diferentes sectores productivos (industriales, domésticos, público, agrícola etc.) y las salidas en forma de aguas residuales (Figura 1).

Figura 1. Metabolismo urbano del agua.



Fuente: Elaboración propia.

Es importante recalcar que esta investigación pretende conocer el manejo que se hace del agua en la ciudad de Morelia, específicamente en el último paso de este proceso que consiste en la generación de las aguas residuales, así como las implicaciones socio-ambientales que tienen estas aguas en la cuenca baja. Ello conlleva necesariamente a estudiar el rol del Estado mexicano en la problemática socio-ambiental en la cuenca a través de sus instituciones, regulaciones y políticas públicas asociadas con la urbanización y el manejo del agua en la cuenca.

1.2 Objetivos

Objetivo General

- Conocer el manejo del agua residual de Morelia y sus impactos socio-ambientales en la cuenca del lago de Cuitzeo.

Objetivos Particulares

- Entender cómo el agua contribuye al mantenimiento de ecosistemas y las sociedades urbanas y rurales en la cuenca.
- Describir el manejo del agua por las sociedades urbanas de la cuenca, principalmente en la ciudad de Morelia y sus actividades productivas (industrial).
- Identificar los impactos socio-ambientales generados por las aguas residuales de la ciudad de Morelia en la cuenca baja, donde se ubican las sociedades rurales y el lago de Cuitzeo.
- Conocer el papel del Estado y la legislación y políticas públicas (hídrica, ambiental, urbana) que tienen un impacto en la problemática del agua en la cuenca.

1.3 Aproximación conceptual y metodológica

Antes de abordar la problemática planteada, nos enfrentamos a otro tipo de problema, esta vez metodológico, debido a que en la perspectiva epistemológica del investigador (Biólogo) no se cuenta con una metodología o modelo bien definido que sirva para abordar una problemática compleja como la planteada. Ello se debe a que el mismo problema exige una serie de pasos específicos para ser abordado, pues la temática socio-ambiental de esta investigación contempla actores y situaciones de diferente naturaleza como el Estado y sus políticas públicas, los ecosistemas y su biodiversidad, las sociedades en diferentes ambientes (rural y urbano) junto con sus actividades económicas.

Para poder estudiar una problemática socio-ambiental como la planteada, es necesario apoyarse en marcos conceptuales y metodológicos que tomen en cuenta al mismo tiempo, tanto los escenarios naturales como los sociales así como la relación que se da entre ambos, es decir metodologías de tipo interdisciplinarias. Algunos ejemplos de estos métodos interdisciplinarios son el de Sistemas Complejos o los Sistemas Socio-Ecológicos (Costanza *et al.*, 1997; Daily 1997; Scholz y Binder, 2004; 2011; García, 2006; Ostrom *et al.*, 2009; Collins *et al.*, 2011).

Para esta investigación se recurrió a la Teoría de los Sistemas Complejos propuesta por Rolando García (2006). Su pertinencia es que contribuye de manera sustancial en el análisis y en la comprensión de una problemática compleja (como la ambiental) desde una perspectiva interdisciplinaria e integral. Para ello utiliza un ejemplo clásico de sistema complejo: un sistema natural que ha sufrido la acción del hombre, ya sea por medio de la explotación de sus recursos naturales o bien por la instalación de asentamientos humanos de diverso tipo, incluyendo las urbanizaciones y obras de infraestructura.

García (2006) propone construir un marco epistémico a través de preguntas guía que definen la problemática de estudio, que en el caso de los problemas ambientales es de naturaleza compleja e interdisciplinaria. Ello implica hacer un recorte arbitrario de la realidad, que se delimita por un sistema complejo con elementos heterogéneos o subsistemas (biofísico, económico-productivos, socio-

culturales, político-administrativos), que tienen relaciones entre sí (condiciones de contorno) y forman la estructura y dinámica del sistema.

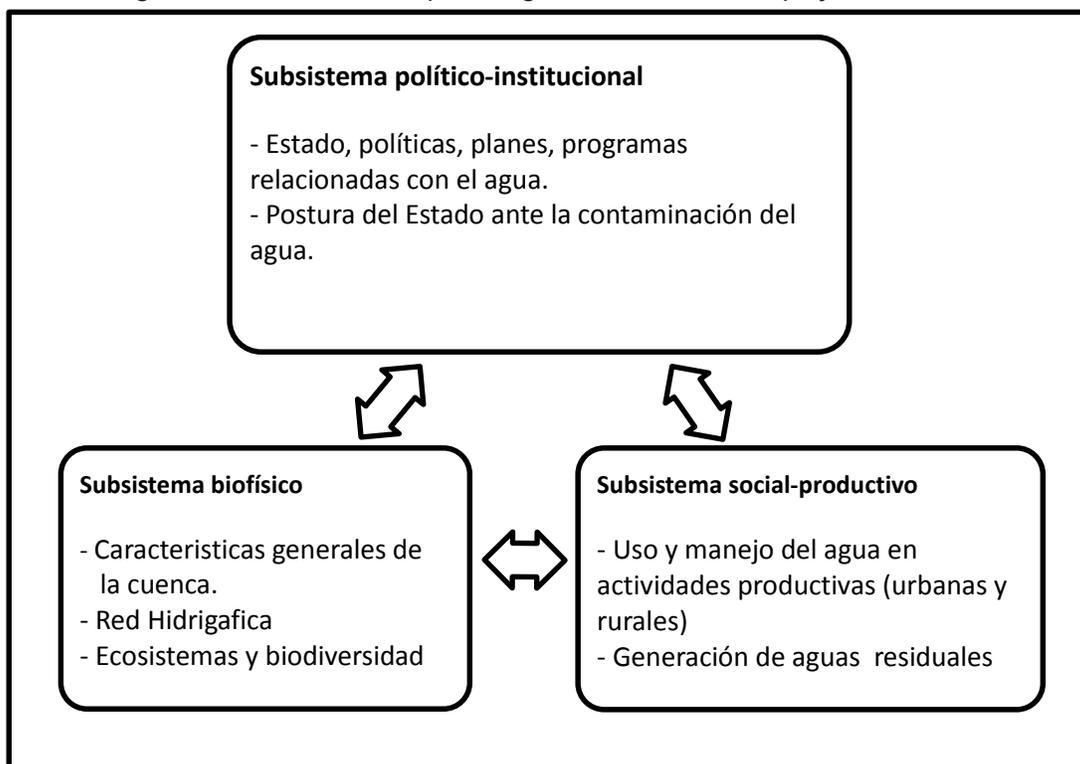
Los ejemplos de Sistema Complejo de García (2006) contemplan problemas socio-ambientales que son acordes con lo planteado en esta investigación: estudiar los impactos socio-ambientales como una alteración en un sistema natural provocada por la sociedad a través de sus actividades.

Los procesos socio-ambientales ocurren en una realidad formada por múltiples elementos, que tienen sus propias características y operan a diferentes niveles escalares de tiempo y espacio. Sin embargo de esta realidad solo deben estudiarse los elementos que se consideren más pertinentes para integrar el sistema y responder a la pregunta central (definición del problema).

Los elementos (de ahora en adelante sub-sistemas) de nuestro objeto de estudio (sistema complejo), fueron elegidos con base en las preguntas planteadas como centrales y el conocimiento previo que se tiene sobre la problemática socio-ambiental y del manejo del agua en la cuenca del lago de Cuitzeo.

Las relaciones entre los sub-sistemas de estudio: biofísico, social-productivo y político-institucional, determinan las propiedades y estructura del sistema complejo. Ello nos permitirá abordar y entender la problemática de la contaminación del agua y los impactos socio-ambientales en la cuenca del lago de Cuitzeo (Figura 2), desde una perspectiva interdisciplinaria.

Figura 2. Subsistemas que integran al sistema complejo de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Cada sub-sistema es un eje de investigación delimitado a través de preguntas clave. El **subsistema biofísico** se planteó las siguientes preguntas relacionadas a los aspectos más relevantes de la cuenca del lago de Cuitzeo y del agua:

- ¿Cuál es la ubicación geográfica de la cuenca del lago de Cuitzeo?
- ¿Cuáles son los ecosistemas presentes en esta cuenca?
- ¿Cuál es la red hídrica superficial (ríos principales) de la cuenca?
- ¿Cuál es la disponibilidad del recurso hídrico?
- ¿El agua es un Servicio Ecosistémico (Soporte y Regulación) que contribuye al mantenimiento de la cuenca, ecosistemas y organismos vivos?

El **subsistema socio-productivo** comprende las sociedades (urbanas y rurales) juntos con sus actividades productivas en donde aprovechan el agua para generar productos y mercancías que satisfacen necesidades, son también quienes generan las aguas residuales. Para conocer este subsistema se planteó lo siguiente:

- ¿Cuáles son los centros de población (urbana y rural) más importantes de la cuenca?
- ¿Es el agua un Servicio Ecosistémico (Provisión y Cultural) que contribuye al mantenimiento de estas sociedades?
- ¿Cuáles son y donde se localizan sus fuentes de abastecimiento de agua?
- ¿Cuál es la calidad del agua extraída?
- ¿Cómo se distribuye el agua en los diferentes sectores rurales y urbanos de la cuenca?
- ¿Cuáles son los procesos para sanear las aguas residuales de la ciudad de Morelia?
- ¿Cuáles son los impactos sociales y ambientales en el entorno rural de la cuenca por las aguas residuales?

El **subsistema político-institucional** está representado por el Estado mexicano y sus políticas públicas (hídrica, urbana y ambiental) que regulan el uso del agua, el crecimiento de las ciudades así como el ordenamiento del territorio a través de planes y programas que implementa desde los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) en la cuenca. Este eje se desarrolló a través de las siguientes preguntas:

- ¿Por qué se degrada la calidad del agua y los SE en la cuenca, especialmente a su paso por la ciudad de Morelia?
- ¿Qué instituciones y políticas públicas en la cuenca están enfocadas al manejo del agua en la cuenca?
- ¿Cómo intervienen estas instituciones y sus políticas en la problemática de contaminación del agua?
- ¿Son consecuentes las instituciones y sus políticas con la realidad social y ambiental en la cuenca?
- ¿Cuál es la responsabilidad del Estado ante la problemática de las aguas residuales generadas por la ciudad de Morelia?

Cada sub-sistema tiene cualidades propias, tanto de dinámica, de sus propios actores y cada uno es diferente del otro, por ello para responder a las interrogantes, fue necesario contar con información de diversas fuentes y campos disciplinarios. Por lo tanto se recurrió a la investigación documental y de campo y al uso de técnicas tanto cuantitativas como cualitativas (Tabla 1).

Tabla 1. Diferencias entre investigación cuantitativa y cualitativa.

	Investigación Cuantitativa	Investigación Cualitativa
Forma de conocer	Objetivo	Subjetivo
Objetivo	Descubrir hechos para formular leyes	Describir, comprender e Interpretar los fenómenos.
Método	Hipotético deductivo y analítico	Pluralidad metodológica para interpretar y comprender la realidad
Postura epistemológica	Cientificismo (Ciencias naturales, física, matemáticas, estadística)	Hermenéutica, Fenomenológica
Hipótesis	Se formulan al inicio de la investigación	Surgen durante la investigación pudiendo ser descartadas
Datos	Se colectan en una sola etapa	Se recogen durante todo el proceso
Relación sujeto-objeto	Predomina la objetividad	Impera la subjetividad a través de la interpretación del objeto de estudio por parte del sujeto

Adaptado de: Hernández Sampieri, 2010.

La investigación documental se limitó al acopio información bibliográfica (libros, artículos, reportes) y datos (censos, estadísticas) para explicar los sub-sistemas biofísico, socio-productivo y político-institucional. . Se consultaron tanto bibliotecas virtuales como: JSTOR, Hazars Bulletin, Latin America Data Base (LADB), Latindex, Latino barómetro, Left index; así como bases no virtuales como los centros de documentación y bibliotecas de la Universidad Michoacana y de la Universidad Nacional Autónoma de México para rastrear información relacionada en estos temas.

Se recurrió a herramientas geo-espaciales, bases de datos geo-referenciadas y técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la herramienta Google Earth, y el servidor de datos Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) para la delimitación de la cuenca y su caracterización biofísica.

Para describir a las sociedades de la cuenca y sus actividades económicas, se consultaron las bases de datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) y del Consejo Nacional de Población (CONAPO), disponibles en internet.

Complementando el acopio de información se realizaron consultas a instituciones públicas (académicas, de gobierno y de investigación) y se requirió de información adicional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión de Cuenca de Cuitzeo e instancias estatales y municipales relacionadas con el agua en la cuenca de Cuitzeo.

La investigación de campo se centró en la evaluación de los impactos socio-ambientales a través del uso de técnicas cualitativas como la observación, la entrevista y asistencia a reuniones. Es decir, el análisis cualitativo tuvo importancia en esta investigación por ser una forma de interpretar la realidad a través de la información proveniente de los actores sociales (campesinos y pescadores entrevistados) según su propia situación (emociones, prioridades, experiencias, significados y otros aspectos) (Cantrell, 1999; Hernández Sampieri, 2010).

En ese sentido la investigación cualitativa se aplicó con el fin de tener un panorama de la problemática desde el punto de vista de los afectados, para ello no hubo necesidad de contar con un muestreo representativo o universo de actores a entrevistar, ni convertir la información cualitativa a datos cuantitativos a través de herramientas estadísticas para obtener una valoración de los daños.

Como primer paso, se hizo un recorrido de campo (cuenca) para lograr una sensibilización del investigador con el ambiente y entorno en el cual se realizó el estudio, así como identificar a informantes clave para entrevistar posteriormente y en general para compenetrarse con la problemática. El recorrido comprendió la cuenca alta, media y baja lo que ayudó a identificar las características y condiciones generales, en materia de disponibilidad de agua, su manejo así como los efectos más visibles de la contaminación. Todo ello se fue registrando en un diario de campo.

Luego se diseñaron entrevistas semiestructuradas dirigidas a personas relacionadas con el tema con el fin de obtener información de los daños que padecen por las aguas residuales de la ciudad de Morelia. Las entrevistas se apoyaron en un cuestionario guía con preguntas abiertas basadas en los temas de investigación y se diseñaron de acuerdo a los actores a entrevistar: funcionarios públicos, agricultores, pescadores y académicos (ver anexos). La información se capturó por escrito, en audio y apoyado con imágenes fotográficas.

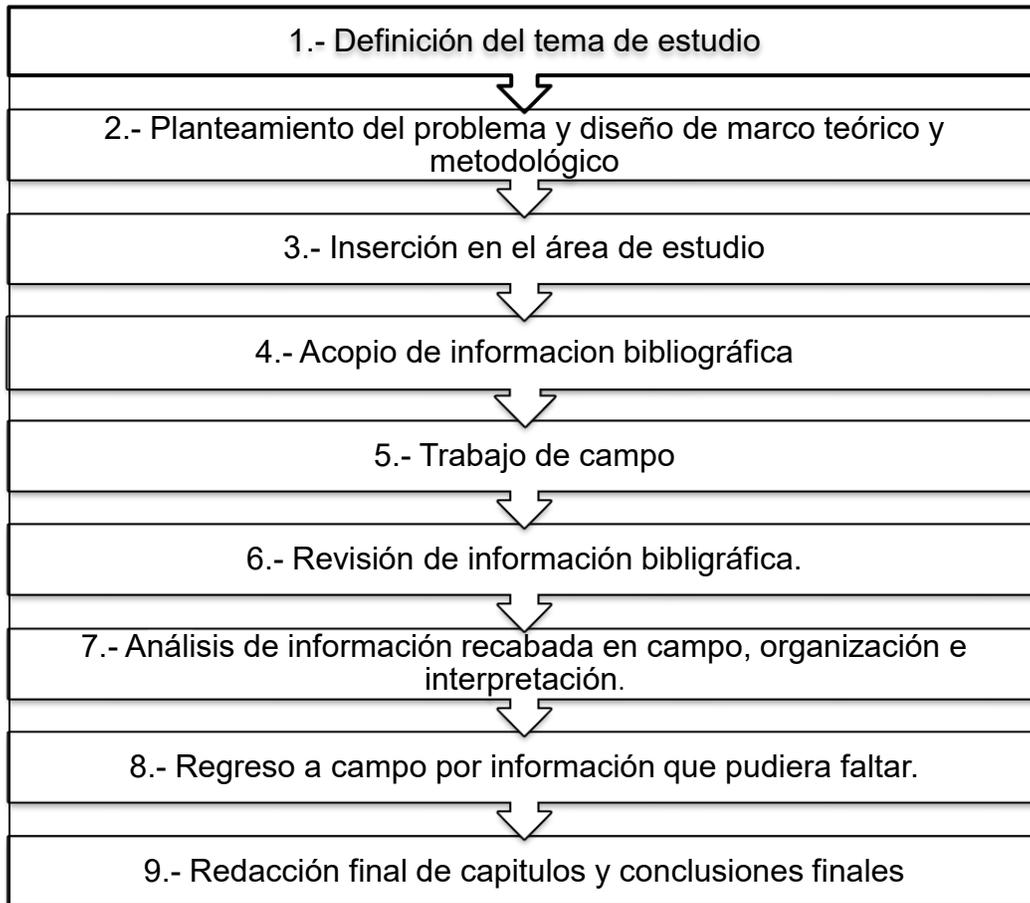
El criterio para seleccionar lugares en los que se aplicaron las entrevistas a los informantes clave se basó en el recorrido de campo en donde se observó que son sitios por donde pasan y se aprovechan las aguas residuales de la ciudad de Morelia.

Los entrevistados se dividieron en dos categorías: pobladores que interactúan con el agua residual por vivir cerca del río o canales y funcionarios de gobierno que tienen injerencia directa en el manejo del agua. Del primer grupo, se entrevistó a 20 agricultores del Distrito de Riego DR-020 específicamente los del módulo III del municipio de Álvaro Obregón; a 10 pobladores de la comunidad de Uruétaro del municipio de Tarímbaro que viven en las márgenes de los canales de aguas contaminadas; y a 20 pescadores que realizan sus actividades productivas en el Lago y viven en localidades pertenecientes al municipio de Alvaro Obregón. Del segundo grupo, se entrevistaron a cinco servidores públicos de instituciones relacionadas con el uso y manejo del agua en la cuenca a nivel municipal y estatal.

La información de los impactos sociales no se presentó a través de gráficas ni variables binarias que midan los impactos en parámetros como éxito o fracaso, afecta o no afecta, indiferente, etc. El aporte fue aplicar una perspectiva de análisis socio-ambiental centrada en los actores sociales directamente afectados por la contaminación del agua residual.

Una vez sistematizada la información documental y de campo se hizo un análisis para explicar la problemática socio-ambiental, a través de observar las relaciones entre los sub-sistemas y lograr describir el funcionamiento de todo el sistema complejo. Todo este proceso de investigación se resume en la Figura 3.

Figura 3. Proceso de la investigación.



La redacción final del documento fue por capítulos: en el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, los objetivos y métodos de la investigación. El resto de capítulos se presentan como los resultados de la investigación, cada uno de estos fue desarrollado en base a los sub-sistemas que integraron el sistema complejo, quedando de la siguiente manera: el capítulo 2 comprende los aspectos biofísicos de la cuenca; el capítulo 3 el manejo del agua en la cuenca; el capítulo 4 corresponde a los impactos sociales y ambientales por el agua residual; y el capítulo 5 se integró con información sobre el Estado mexicano y sus políticas públicas relacionadas con la problemática del agua. Al término de cada capítulo se presenta una breve reflexión en torno a lo desarrollado. Finalmente en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones y reflexiones finales de la investigación.

2.- ASPECTOS BIOFÍSICOS DE LA CUENCA

Considerando la importancia del agua como articulador de los procesos naturales que ocurren en el ecosistema y en la problemática de estudio, se recurrió al concepto de cuenca hidrográfica como unidad que delimita el área de estudio. Se describen en este capítulo las características físicas, biológicas, geológicas y climáticas más sobresalientes del área de estudio que corresponde a la cuenca del lago de Cuitzeo. Inicialmente se hace una descripción de la red hidrológica superficial la cual conecta en tiempo y espacio las partes altas, medias y bajas de la cuenca y que albergan una importante biodiversidad.

Para completar la información que brinde un mayor entendimiento de la cuenca respecto al agua, se realizó un cálculo del Balance Hídrico utilizando el método de Thornthwaite-Mather (1957), esto con la intención de conocer el estado y la disponibilidad del agua que puede ser aprovechada por las sociedades y los ecosistemas, lo cual es un factor que determina el estado de la biodiversidad y de la cuenca en general.

El capítulo se desarrolló en base a la investigación bibliográfica, con ello se recuperó información referente a las características biofísicas de la cuenca del lago de Cuitzeo y otra parte de esa información (datos) fue procesada técnicamente para realizar el cálculo del Balance Hídrico de la cuenca.

2.1 Cuenca del lago de Cuitzeo

La cuenca hidrográfica es definida por los parteaguas y el relieve cuyos escurrimientos drenan a un punto común permite aislar los flujos de agua que entran al sistema, esto ayuda a entender mejor lo que ocurre con el agua dentro de la cuenca (Cotler *et al.*, 2007). La cuenca de estudio presenta una condición endorreica, donde las aguas de sus afluentes confluyen al ecosistema lacustre del lago de Cuitzeo.

La poligonal que delimita la cuenca que drena al Lago de Cuitzeo se obtuvo a través de la base de datos geoespacial SIATL (INEGI, 2015). De acuerdo a esta

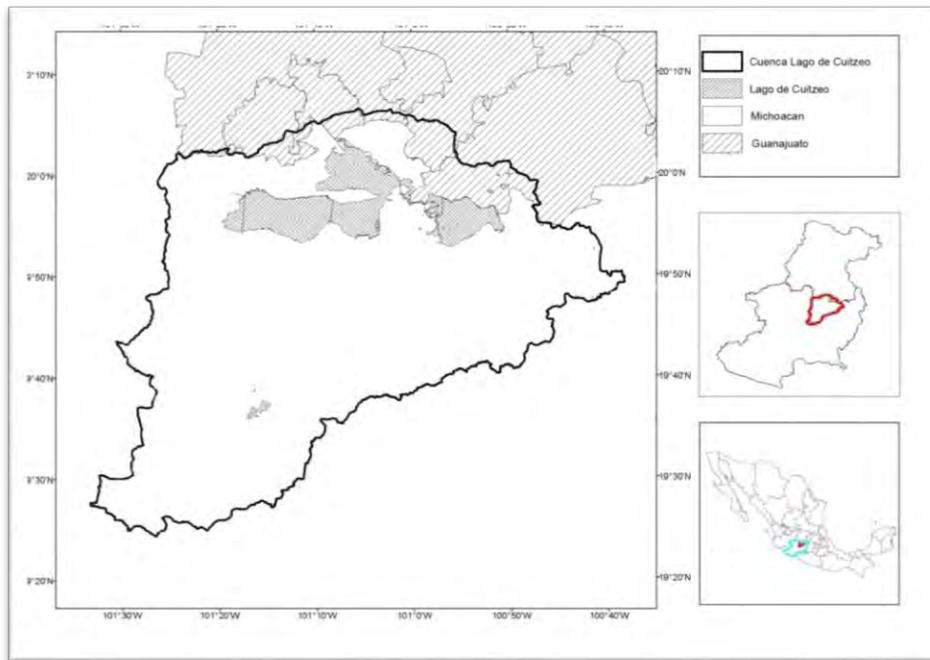
aplicación en línea, se obtuvieron los rasgos vectoriales más sobresalientes de la cuenca y su red hidrográfica. La cuenca es parte de la cuenca “Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Laguna de Yuriria” en la Región Hidrográfica 12 “Lerma-Santiago” (SIATL, 2015). La Tabla 2, muestra sus rasgos más importantes.

Tabla 2. Parámetros generales de la cuenca del Lago de Cuitzeo. Obtenidas con el Simulador de flujos de agua en cuencas hidrográficas SIATL, 2014.

Propiedad	Valor
Tipo de sub-cuenca	Endorreica
Lugar a donde drena (principal)	L. de Yuriria
Total de Descargas (drenaje principal)	1
Perímetro (km)	367.2
Área (km ²)	4,023.6
Densidad de Drenaje	1.54
Coefficiente de Compacidad	1.63
Longitud Promedio de flujo superficial de la sub-cuenca (km)	0.16
Elevación Máxima en la sub-cuenca (msnm)	3,420
Elevación Mínima en la sub-cuenca (msnm)	1,840
Pendiente Media de la sub-cuenca (%)	15.4
Elevación Máxima en Corriente Principal (msnm)	3,011
Elevación Mínima en Corriente Principal (msnm)	1,840
Longitud de Corriente Principal (km)	167.5
Pendiente de Corriente Principal (%)	0.70
Sinuosidad de Corriente Principal	2.14

La cuenca del lago de Cuitzeo tiene una extensión de 4,024 km², se localiza en la parte media de la región hidrográfica del Lerma, entre los paralelos 19° 53' 15" y 20° 04' 30" Norte y los meridianos 100° 50' 20" y 101° 19' 30" de longitud Oeste, en la región fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal de México (Figura 4).

Figura 4. Ubicación geográfica de la cuenca de Cuitzeo.



Fuente: Elaboración propia en QGIS.

Las formaciones geológicas y el subsuelo de la cuenca se componen de materiales de origen volcánico básico, estructuras volcánicas, como conos cineríticos, aparatos volcánicos complejos, domos riolíticos y andesíticos, coladas de lava y depósitos piroclásticos de edad reciente (Cenozoico Superior) (Israde-Alcántara *et al.*, 2009).

Las formas de relieve de la cuenca se encuentran distribuidas de la siguiente manera: colinas (23.6%), lomeríos altos (22.5), planicies (18.6) y lomeríos bajos (9.7%). El porcentaje restante corresponde a formas menores (López *et al.*, 2012).

La temperatura media de la cuenca es semi-cálida con temperaturas de 18 a 22°C. La época más calurosa va de abril a septiembre siendo el mes de mayo y junio los meses más cálidos y en julio, agosto y septiembre cuando la temperatura disminuye significativamente.

Las precipitaciones en la cuenca son variables, en la parte media van de 600 a 800 mm anuales, en la parte baja de 800 a 1,000 mm y en las partes altas es mayor a 1,200 mm anuales. La temporada lluviosa se da en verano y otoño

(mayo a octubre), en el resto del año es de sequía (noviembre a abril), siendo febrero y marzo los meses más secos (Vidal, 2005).

Tales condiciones ambientales hacen que la cuenca sea hábitat para diversas especies de organismos, los principales ecosistemas son: bosque de Oyamel representado por *Abies religiosa* (Kunth] Schltl. & Cham), localizado entre los 2,500 a 3,000 msnm, el bosque de Pinode *Pinus montezumae* (Roetzl), *P. Teocote* (Schiede ex Schltl. & Cham), *P. Michoacana* (Martínez), *P. Lawsonii* (Roetzl) y *P. Leiophylla* (Schiede ex Schltl. & Cham) distribuidos entre los 700 y 1,200 metros, el Bosque de Encino con *Quercus crassipies* (Bonpl), *Q. Deserticola* (Trel), *Q. obtusata* (Bonpl) entre los 2,000 a los 2,600 msnm, existen remanentes de Bosque Mesofilo como *Cleyera integrifolia* (Benth), *Tilia mexicana* (Schltl), *Carpinus caroliniana* (Thomas Walter), *Fraxinus uhdei* (Wenz), *Ternstroemia pringlei* (Rose) localizados entre los 2,200 y 2,800 msnm. El Bosque Tropical Caducifolio y los matorrales subtropicales han sido fuertemente transformados y constituyen vegetación secundaria. Por su parte, la vegetación acuática del lago de Cuitzeo y los ríos de la cuenca está dominada por géneros como *Thypha*, *Scirpus*, *Cyperus*, *Eleocharis* y *Phragmites* (López et al., 2012).

Con respecto a la fauna de la cuenca, se han reportado 23 especies de peces y al menos unas 50 especies de anfibios y reptiles (incluyendo tortugas, lagartijas, serpientes y ranas). Con respecto a las aves han sido reportadas 296 especies, y de mamíferos 161 (Villaseñor, 1994; Medina et al., 2003; Flores, 2004; Núñez, 2005; Ponce, 2005).

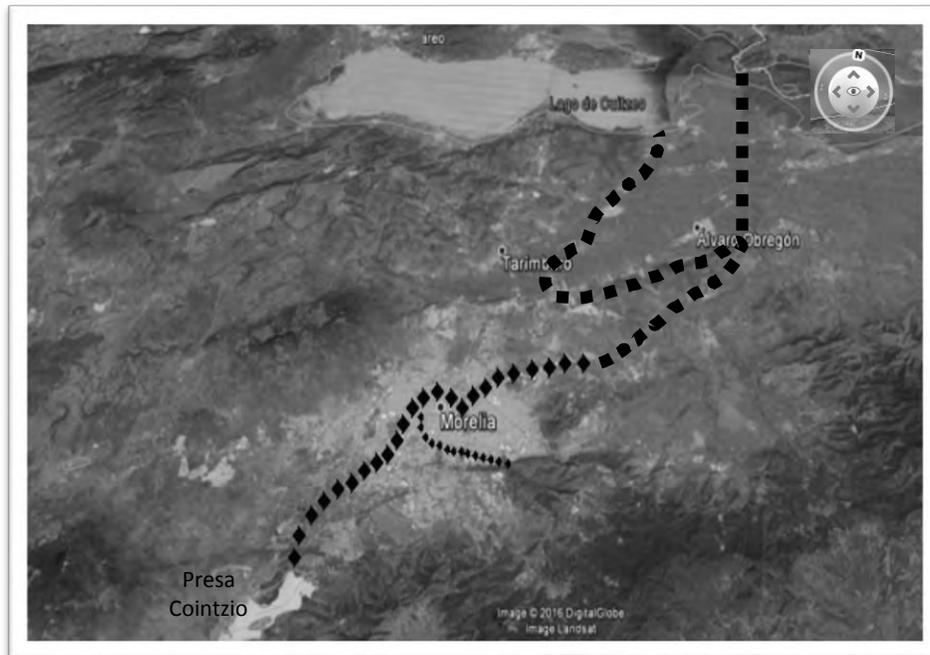
2.2 Los ríos en la cuenca

Las principales corrientes superficiales de la cuenca del lago de Cuitzeo son el Río Grande de Morelia y el Río Queréndaro: el primero recorre la cuenca desde la porción Sur hasta el lago y el segundo por la parte Este. Además existen otros ríos menores como el Río Zinapécuaro, el Río Chiquito de Morelia, los ríos Naranjos y San Lucas Pio, además de algunos arroyos intermitentes y manantiales termales (Chacón, 2000; García et a., 2005).

El Río Grande de Morelia nace de los ríos Tirio y Tiripetio en la parte alta de la cuenca al Suroeste de la misma (Figura 5). Su caudal es controlado por la Presa Cointzio, pasando posteriormente por la ciudad de Morelia donde se le une el río Chiquito. Al salir de la zona urbana, el río continúa hacia el noreste de la cuenca cruzando la planicie del municipio de Álvaro Obregón. En esta zona es conocido como Río Grande Rectificado, manteniéndose así hasta llegar al lago de Cuitzeo.

En los últimos años el Río Grande de Morelia se ha convertido en la principal vía superficial de desalojo de aguas residuales de la ciudad de Morelia (Silva, 1999).

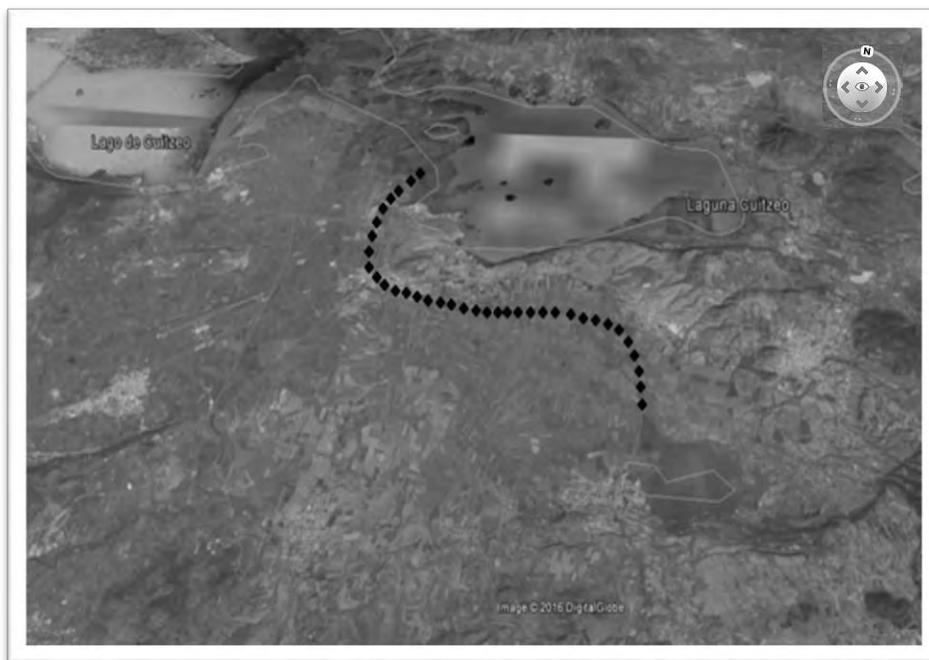
Figura 5. (◆) Río Grande y (◆) Chiquito a su paso por la ciudad de Morelia.



Fuente: Google Earth, 2014.

El Río Queréndaro es el otro afluente de importancia que nace en la sierra de Otzumatlán al noreste de la cuenca, pasando por la presa de Malpaís y desembocado en el lago de Cuitzeo después de un recorrido 20 km (Figura 6).

Figura 6. (♦) Río Queréndaro en la cuenca de Cuitzeo.



Fuente: Google Earth, 2014.

Además de los servicios de provisión de agua y regulación hidrológica, el Río Grande es un importante hábitat para la flora y fauna locales tanto en el río en sí, como en su zona riparia. En sus cauces se han reportado diversas spp de algas y plantas acuáticas (Cyanophyta, Chrysophyta, Euglenophyta y Clorophyta) así como diversos tipos de invertebrados (Aracnidos, Moluscos, Coleópteros, Collembolos, Dípteros, Gasterópodos, Hemípteros, Odonatos, etc.; Ponce, 2005, Ortega, 2010).

La herpetofauna asociada a los ríos de la cuenca se compone de ajolotes como *Ambystoma ordinarium* (Taylor), salamandras de las especies *Pseudoeurycea belli* (Gray), ranas y sapos como *Scaphiopus hammondii multiplicatus* (Cope), *Bufo compactilis compactilis* (Cope), *Hyla arenicolor* (Cope), la tortuga *Kinosternon integrum* (Le Conte) y el lagarto *Anolis nebulosus* (Wiegmann), entre otros (Guzmán Villa, 1991).

La avifauna de los ríos está compuesta por especies como la gaviota *Larus delawarensis* (Ord), *Zenaida asiática* (Linnaeus) o paloma blanca, *Columbina inca* (Lesson) conocida como tórtola, el correcaminos *Geococcyx velox* (Wagner), *Tyto*

alba (Scopoli) o lechuza, *Otus flammeolus* (Kaup) o tecolote y los colibríes *Cynanthus latirostris* (Swainson), *Hylocharis leucotis* (Vieillot) (Villaseñor Gómez 1994). En cuanto a mamíferos, en las zona riparia se ha reportado *Didelphis virginiana* (Allen) mejor conocido como Tlacuache, *Sylvilagus floridanus* (Allen) (conejo de monte), la ardilla *Ospermophilus variegatus* (Erxleben), especies de murciélago de la familia Chiroptera y ratones de la familia Cricetidae, e inclusive carnívoros como *Mustela frenata* (Lichtenstein) (Núñez Garduño, 2005).

2.3 El lago de Cuitzeo

El lago de Cuitzeo tiene una extensión promedio de 400 km², se originó hace aproximadamente 7 millones de años durante el período Neógeno del Cenozoico. Los registros geológicos lo caracterizan como somero, y ocasionalmente ha experimentado eventos de desecación y variaciones climáticas importantes, lo que se ha reflejado en variaciones en los niveles del agua que almacena (Buenrostro-Israde, 2003; Mendoza *et al.*, 2005; Israde-Alcántara *et al.*, 2009).

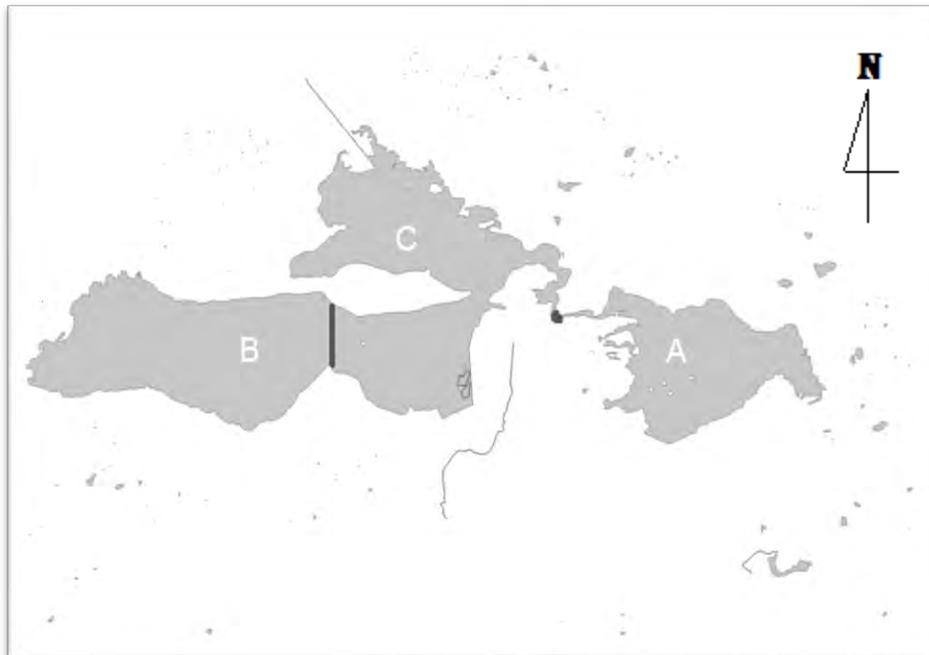
El lago de Cuitzeo es el segundo cuerpo de agua natural más grande de México. Ha sido declarado como zona prioritaria para la investigación y la conservación por el Comité Tripartita entre México, Estados Unidos y Canadá (Comité Tripartita, 1992). Así mismo, el lago se encuentra protegido por la Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) al considerarlo como una zona que alberga una alta biodiversidad. Formalmente no es considerado como lago, sino más bien un humedal para el Sistema Internacional de Humedales (RAMSAR, 2012), para la CONAGUA y para la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA, 2007).

El lago contiene 11 islas en su interior: los Puercos, Tzirio Grande, Tzirio Chico, Las Cuatas, Chanaco, Tecuena, Corandeo, Las Burras, Las Magueyes, Las Palmas y Huiripitio. Actualmente el lago está fragmentado en tres porciones por dos barreras: una artificial en su porción central, que es la carretera federal número 43 y la Autopista Morelia-Salamanca y otra natural formada por la

vegetación hidrófila que se ha favorecido por el aporte de nutrientes de las aguas negras que llegan al lago (Mendoza *et al.*, 2002).

La porción occidental del lago (B) (Figura 7) es la zona más somera y padece períodos de desecación total por la presencia de la vegetación halófila. La porción central (A) es la más profunda, aunque presenta problemas de contaminación debido a la eutrofización y al azolvamiento por la presencia de compuestos inorgánicos (fosfatos, nitratos y desechos de origen industrial y urbano) y por materiales terrígenos, resultado de la deforestación en la parte alta de la cuenca. En la porción oriental (C) se presenta la mejor calidad de agua y alberga la mayor diversidad biológica (Rojas y Novelo, 1995).

Figura 7. Lago de Cuitzeo.



Fuente: Elaboración propia en QGIS.

A pesar de que el lago presenta un estado de deterioro ambiental, aún contiene hábitats para diversos organismos acuáticos como la mojarra *Diplodus vulgaris* (Forster), tilapia *Oreochromis spp* (Günther), charales como *Chirostoma charari* (Swainson), la introducida rana toro *Lithobates catesbeianus* (Shaw), el mosquito y algunas otras especies introducidas como carpa dorada (*Carassius*

auratus auratus (Linnaeus), *Cyprinus carpio* (Linnaeus) y la chegua *Goodea atripinnis*. También algunas especies de fitoplancton como *Merismopedia spp* (Meyen), y *Anabaenopsis spp.* (Ortega Murillo *et al.*, 2010, COMPECSA, 2012).

En el lago también se encuentran especies hidrófilas arraigadas y flotantes que cubren grandes extensiones del lago como el lirio, la chuspata y el tule. Esta vegetación contribuye a la evaporación excesiva de agua del lago, la cual ha pasado de tener una cobertura del 5% del lago en 1975 a 15% en el año 2000, provocando una disminución importante del espejo de agua del lago de Cuizeto (COMPECSA, 2012).

2.4 Balance hídrico de la cuenca

Un cálculo de Balance Hídrico (BH), es el análisis del comportamiento del agua en un sistema, observando las ganancias/entradas por precipitación y las pérdidas/salidas por evapotranspiración, escurrimiento y cambio de la humedad en el suelo (Dunne y Leopold, 1978).

Para calcular el BH anual de la cuenca del lago de Cuitzeo, se utilizó el método Thornthwaite-Mather (1957), el cual por su sencillez es un método muy recurrido para calcular las entradas y salidas de agua a través del cálculo del proceso de Evapotranspiración Potencial (ETP) (Dunne y Leopold, 1978).

El método de Thornthwaite-Mather se basa los siguientes supuestos:

- a) La profundidad del suelo se define por el sistema radicular de la vegetación dominante, lo cual permite calcular la capacidad de campo (CC) del suelo y con ello el agua almacenada y disponible para la vegetación.
- b) En los meses del año en los que la precipitación es mayor a la ETP, se considera que la vegetación está evapotranspirando a la tasa potencial.
- c) El cálculo del balance anual debe ser de “0” mm, por lo que es necesario usar datos promedio de varios años.

Para calcular la Evapotranspiración Potencial (**EtP**) se utilizaron datos de temperatura media mensual del aire (C°), utilizando la siguiente ecuación:

$$EtP. (mm) = 1.6 (10t_m/I)^a$$

En donde

t_m es la temperatura mensual del aire

I representa el índice de calor anual:

$$I = \sum^{12} (t_m/5)^{1.514}$$

y " a " es la constante local del índice:

$$"a" = 0.49 + 0.0179I - 0.0000771I^2 + 0.000000675I^3$$

Para agilizar el cálculo del BH los datos se introdujeron a una plantilla de Microsoft Excel, con ello se obtienen los siguientes datos:

ΔST = Cambios del agua en el suelo.

EtP = Evapotranspiración Potencial.

ETR = Evapotranspiración Real.

Dh = Déficit de humedad.

P = Precipitación.

$P-ETP$ = Pérdidas o adiciones potenciales de humedad en el suelo.

Ppa = Pérdidas potenciales en el suelo.

R = Escurrimiento.

S = Excedente de humedad.

ST = Agua almacenada en el suelo.

Después de calcular la **EtP**, la cifra se corrige para cada mes del año según la latitud de la zona de estudio (Dunne y Leopold, 1978).

Los datos de Precipitación Promedio Mensual y Temperatura Media que se ingresaron a la hoja de cálculo se colectaron en la base del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el cual contiene los registros de las estaciones normales climatológicas que operan en la cuenca. Los datos cuentan con un registro histórico de 35 años (1975-2010).

En total se contabilizaron 27 estaciones normales en la cuenca del lago de Cuitzeo, de estas 20 se encuentran en funcionamiento, 10 de las cuales están instaladas en la parte baja de la cuenca (Tabla 3) y 10 en la parte alta (Tabla 4).

Tabla 3. Estaciones normales climatológicas en la cuenca baja.

Clave de estación	Nombre	Altitud (msnm)
16016	Carrillo Puerto	1839
16023	Copandaro	1927
16027	Cuitzeo	1833
16028	Cuitzillo Grande	1953
16091	Álvaro Obregón	1843
16096	Malpaís	1845
16105	Quirio	1930
16145	Zinapecuaro	1916
16250	Huandacareo	1860
16512	El Colegio	1866

Fuente: CONAGUA 2015.

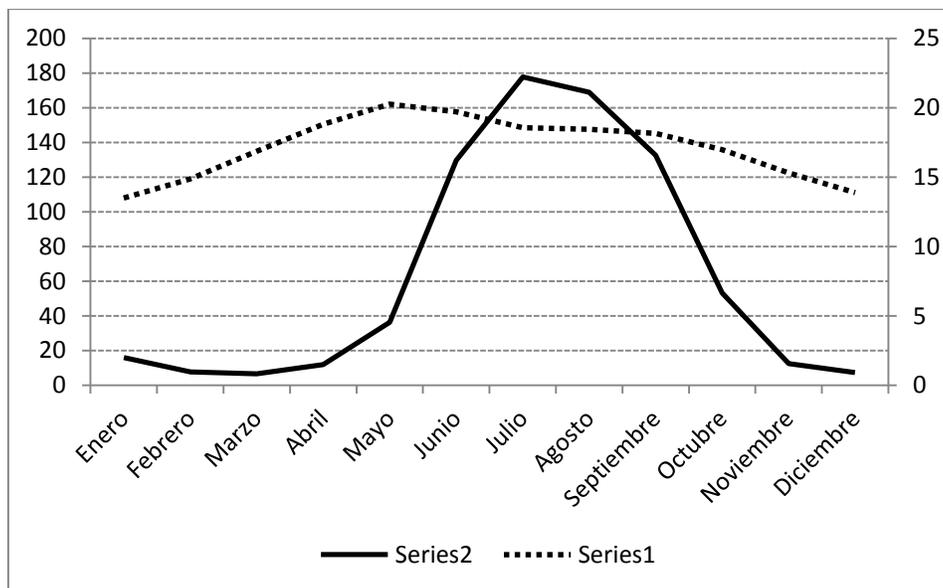
Tabla 4. Estaciones normales climatológicas en la cuenca alta.

Clave de estación	Nombre	Altitud (msnm)
15114	Miguel del Monte	2455
16001	Acuitzio del Canje	2237
16022	Cointzio	2028
16055	Jesús del Monte	2176
16080	Morelia 1	1917
16081	Morelia 2	1913
16120	Undameo	2120
16231	Las Cruces	2382
16255	Ucareo	2538
16513	El Jacal	2060

Fuente: CONAGUA 2015.

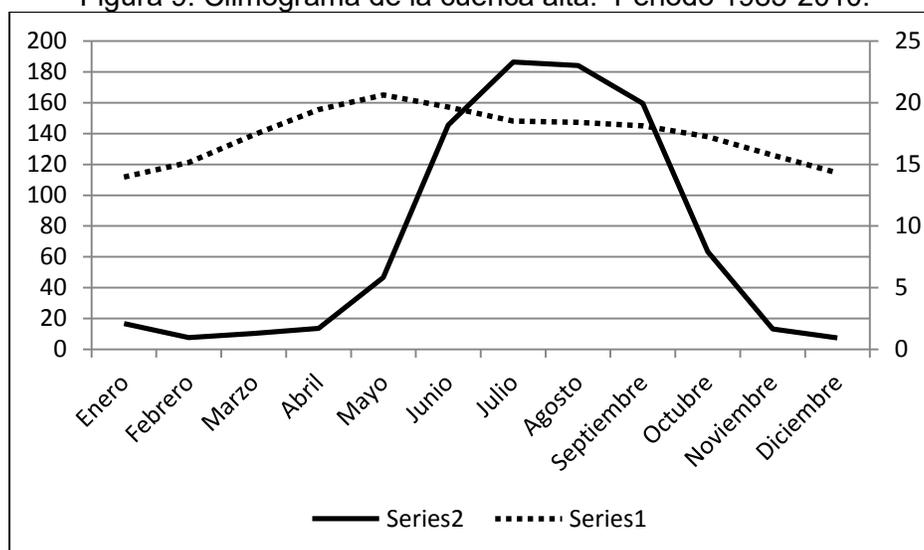
Con los datos de P y T se elaboraron dos climogramas (parte baja y alta de la cuenca). En el primer climograma se observa un pico de temperatura media de 20°C en mayo y un mínimo de precipitación en marzo con 5 mm (Figura 8). El climograma de la parte alta de la cuenca (Figura 9) es muy similar, corriéndose la precipitación mínima a mediados de febrero.

Figura 8. Climograma de la cuenca baja. Periodo 1985-2010.



Fuente: Elaboración propia con los datos colectados de las normales climatológicas, CNA 2015.

Figura 9. Climograma de la cuenca alta. Periodo 1985-2010.



Fuente: Elaboración propia con los datos colectados de las normales climatológicas, CNA 2015.

Los resultados completos del BH para la cuenca baja y alta se presentan en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Balance Hídrico para la cuenca baja.

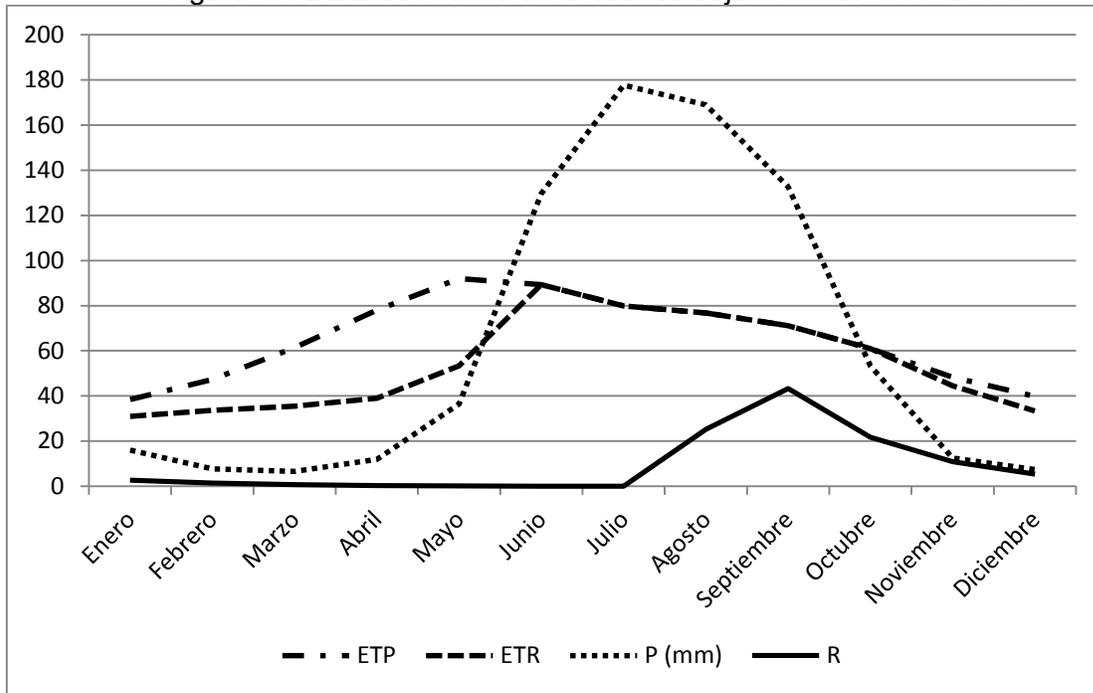
Mes	<i>T</i> (c°)	<i>P</i> (mm)	<i>ETP</i>	<i>P - ETP</i>	<i>Ppa</i>	<i>ST</i>	<i>D-ST</i>	<i>ETR</i>	<i>Dh</i>	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>DT</i>
Enero	13.50	15.96	38.39	-22.43	-98.38	169.00	-15.00	30.96	-7.43	0.00	2.71	169.00
Febrero	14.86	7.65	47.34	-39.69	-138.06	143.00	-26.00	33.65	-13.69	0.00	1.35	143.00
Marzo	16.87	6.51	61.47	-54.96	-193.03	114.00	-29.00	35.51	-25.96	0.00	0.68	114.00
Abril	18.81	11.92	77.99	-66.07	-259.09	87.00	-27.00	38.92	-39.07	0.00	0.34	87.00
Mayo	20.25	36.39	92.03	-55.64	-314.74	70.00	-17.00	53.39	-38.64	0.00	0.17	70.00
Junio	19.70	129.67	89.34	40.33	0.00	110.33	40.33	89.34	0.00	0.00	0.08	110.33
Julio	18.57	177.73	79.90	97.83	0.00	208.16	97.83	79.90	0.00	0.00	0.04	208.16
Agosto	18.44	169.01	76.78	92.23	0.00	250.00	41.84	76.78	0.00	50.39	25.22	275.20
Septiembre	18.15	132.68	71.20	61.48	0.00	250.00	0.00	71.20	0.00	61.48	43.35	280.74
Octubre	16.98	53.23	60.93	-7.70	-7.70	242.00	-8.00	60.93	0.00	0.00	21.67	242.00
Noviembre	15.30	12.47	48.24	-35.77	-43.47	210.00	-32.00	44.47	-3.77	0.00	10.84	210.00
Diciembre	13.88	7.38	39.85	-32.47	-75.94	184.00	-26.00	33.38	-6.47	0.00	5.42	184.00

Tabla 6. Balance Hídrico para la cuenca alta.

Mes	<i>T</i> (c°)	<i>P</i> (mm)	<i>ETP</i>	<i>P - ETP</i>	<i>Ppa</i>	<i>ST</i>	<i>D-ST</i>	<i>ETR</i>	<i>Dh</i>	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>DT</i>
Enero	13.97	16.68	39.87	-23.19	-93.64	266.00	-20.00	36.68	-3.19	0.00	4.00	266.00
Febrero	15.16	7.69	48.08	-40.39	-134.04	237.00	-29.00	36.69	-11.39	0.00	2.00	237.00
Marzo	17.40	10.31	63.94	-53.63	-187.67	204.00	-33.00	43.31	-20.63	0.00	1.00	204.00
Abril	19.44	13.71	81.71	-68.00	-255.67	167.00	-37.00	50.71	-31.00	0.00	0.50	167.00
Mayo	20.64	46.71	94.32	-47.61	-303.28	147.00	-20.00	66.71	-27.61	0.00	0.25	147.00
Junio	19.64	145.46	87.96	57.50	0.00	204.50	57.50	87.96	0.00	0.00	0.13	204.50
Julio	18.52	186.44	78.56	107.88	0.00	312.38	107.88	78.56	0.00	0.00	0.06	312.38
Agosto	18.41	184.06	75.61	108.45	0.00	350.00	37.62	75.61	0.00	70.83	35.45	385.42
Septiembre	18.13	159.53	70.15	89.38	0.00	350.00	0.00	70.15	0.00	89.38	62.42	394.69
Octubre	17.24	63.32	61.64	1.68	0.00	350.00	0.00	61.64	0.00	1.68	32.05	350.84
Noviembre	15.76	13.22	49.90	-36.68	-36.68	315.00	-35.00	48.22	-1.68	0.00	16.02	315.00
Diciembre	14.32	7.42	41.20	-33.78	-70.46	286.00	-29.00	36.42	-4.78	0.00	8.01	286.00

Se graficaron solo los datos de Precipitación (*P*), Evapotranspiración Potencial (*ETP*), Evapotranspiración Real y el Escurrimiento (*R*) para tener el panorama del comportamiento del agua en la cuenca del lago de Cuitzeo (ver Figura 10 y 11).

Figura 10. Balance Hídrico de la cuenca baja. Periodo 1985-2010.



Fuente: Elaboración propia con los datos colectados de las normales climatológicas, CNA 2015.

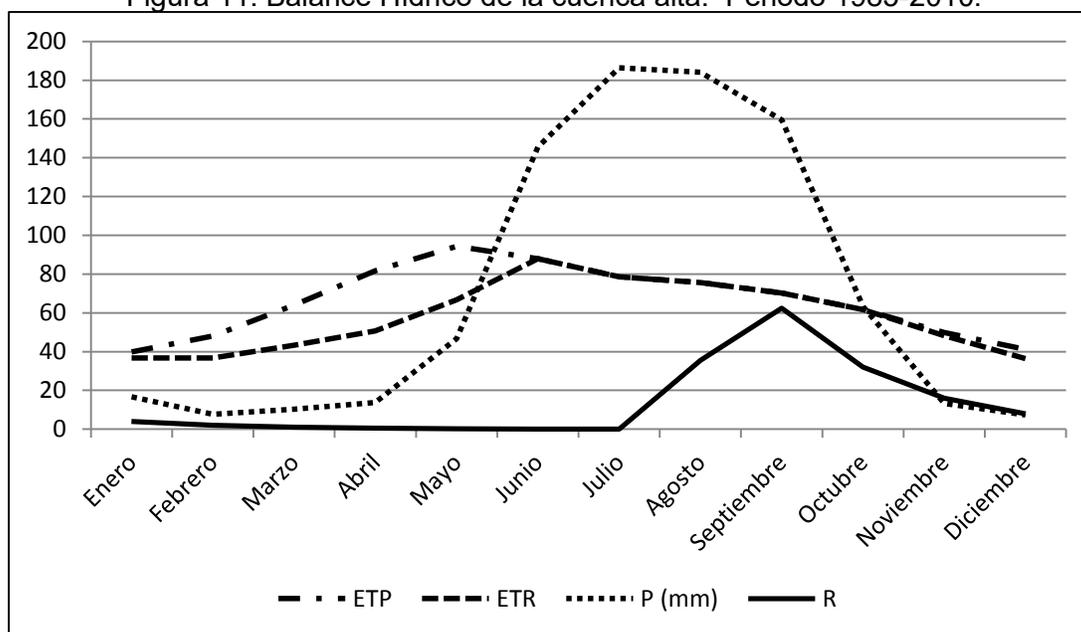
El Balance Hídrico de la cuenca baja indica que existe un período de exceso de agua cuando la Precipitación (P) es mayor a la Evapotranspiración Potencial (ETP), situación que se registra desde junio hasta mediados de octubre. Durante este período húmedo se recargan los acuíferos a través de la infiltración, una vez que el agua ha saturado el suelo. Los niveles máximos de precipitación en esta época llegan de 180 mm a mediados de julio y los mínimos a 57 mm en octubre.

El déficit hídrico en la cuenca baja se presenta cuando la ETP es mayor que la Evapotranspiración Real (ETR) y la vegetación tienen que recurrir al agua acumulada en el suelo para satisfacer la demanda evapotranspirativa. El déficit dura aproximadamente 8 meses que van de mediados de octubre hasta mediados de junio. El mes de mayor evapotranspiración es Junio, registrando cerca de los 100 mm mensuales, en contraste con los 25-30 mm mensuales que se evapotranspiran durante los meses de déficit hídrico.

Los escurrimientos presentan un pico en septiembre y posteriormente tienen una marcada disminución de febrero hasta julio, siendo estos últimos meses la etapa más crítica en la cuenca al presentar un déficit de humedad en el ambiente y en el suelo.

El Balance Hídrico de la cuenca alta (Figura 11) es muy similar a la de la parte baja, pues el excedente de agua y déficit ocurren en los mismos periodos, pero se observa un ligero incremento en los niveles de escurrimiento en casi 10% en comparación con el escurrimiento de la parte baja.

Figura 11. Balance Hídrico de la cuenca alta. Periodo 1985-2010.



Fuente: Elaboración propia con los datos colectados de las normales climatológicas, CNA 2015.

En conclusión, la cuenca presenta una limitación hídrica representada por el periodo más crítico de escasez en los meses de abril y mayo. Es decir, durante más de la mitad del año, la cuenca de Cuitzeo tiene una baja disponibilidad de agua para el funcionamiento de los ecosistemas y el mantenimiento de los servicios que presta a la población, incluyendo el agua disponible para sus procesos productivos. Sin embargo, durante los meses de Junio a septiembre se dan las condiciones óptimas en el que se recarga el acuífero a través de la infiltración en el suelo y surgen los escurrimientos.

2.5 Reflexión capitular

El concepto y la visión de cuenca han sido útiles para la delimitación y conocimiento a nivel biofísico del área geográfica donde el agua es el eje integrador de los elementos bióticos y de los procesos naturales que ocurren en los ecosistemas, los cuales incluyen el ciclo hidrológico y la dinámica estructural y funcional del ecosistema.

La condición endorreica de la cuenca de Cuitzeo permite a los elementos naturales interactuar en el tiempo y en el espacio a lo largo de los ríos desde los bosques de las partes altas de la cuenca (bosques de Oyamel, de Pino, de Encino o Abies). Estas áreas boscosas sirven para captar agua de lluvia y regular su disponibilidad, calidad y temporalidad hacia el lago, tanto por flujos subterráneos como por escurrimientos superficiales, como los son el Río Grande, el Queréndaro y el Chiquito.

Es necesario añadir que de acuerdo al balance hídrico realizado para la cuenca, la disponibilidad de agua es baja durante la mayor parte del año en que la precipitación es escasa, por lo tanto los caudales de los ríos disminuyen considerablemente afectando el funcionamiento de los ecosistemas, particularmente durante los meses de Abril y Mayo. La época lluviosa va de junio a octubre, periodo en que el agua satura el suelo y alimenta los escurrimientos para reactivar el funcionamiento de los ecosistemas.

Este escenario de la cuenca del lago de Cuitzeo, es la base biofísica y ecológica donde se da el manejo del agua por la sociedad y donde ocurren las problemáticas generadas por su inadecuado manejo (contaminación del agua, sobreexplotación de acuíferos).

3. MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA

El agua disponible en los ecosistemas es susceptible de ser extraída y aprovechada tanto por los mismos ecosistemas como por las sociedades humanas que se asientan en la cuenca. En este capítulo se describen las sociedades involucradas en la problemática socio-ambiental establecidas en la cuenca del lago de Cuitzeo. Se analiza cómo se apropian, extraen, distribuyen, usan y aprovechan el recurso hídrico en sus actividades económico-productivas (industriales, domésticas, agropecuarias) y finalmente como desechan o disponen las aguas servidas o residuales.

Los centros de población analizados son urbanos y rurales de los municipios de Morelia, Tarímbaro y Álvaro Obregón pertenecientes al estado de Michoacán, los cuales están distribuidos en la parte media y baja de la cuenca, por donde pasa el Río Grande. Estas sociedades demandan importantes cantidades de agua debido al número de habitantes que concentran y por las actividades que realizan (industriales y agropecuarias).

De los tres municipios la atención recae en el de Morelia por la cantidad de agua que demanda la cual asciende a 140 millones m³/año, de esta desecha 90 millones m³/año según los datos del Registro Público de Derechos del Agua de la Comisión Nacional del Agua (REPD, CONAGUA). Los municipios de Tarímbaro y Álvaro Obregón son los receptores del agua residual que desecha Morelia a través del Río Grande.

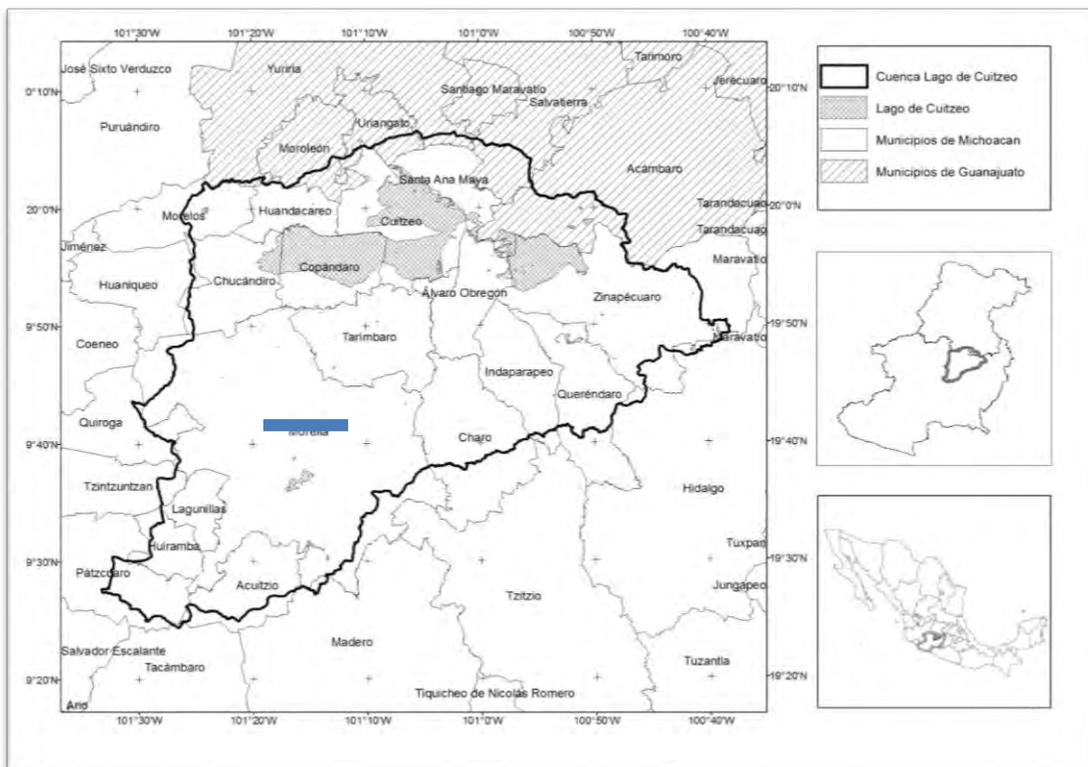
Para describir el manejo del agua en la cuenca y la ciudad de Morelia se realizó una investigación bibliográfica exhaustiva para conocer los núcleos de población, sus fuentes de abastecimiento, la cantidad y calidad del agua extraída, la manera en que se distribuye el líquido y finalmente como se desecha en forma de aguas residuales. Lo anterior se reforzó con el trabajo de campo (entrevistas) realizado en las visitas a la Planta Potabilizadora y Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad de Morelia.

3.1 Sociedades (urbana y rural) de la cuenca

Las sociedades en la cuenca del lago de Cuitzeo, tienen su origen antes de la llegada de los españoles, cuando las primeras culturas se establecieron en la cuenca al encontrar fuentes de agua (ríos, pantanos, lagos), bosques y tierra fértil, lo que permitió que haya sido un área en donde ha ocurrido un importante desarrollo civilizatorio y cultural (Williams, 1990).

La división política actual en la cuenca comprende 23 municipios del estado de Michoacán y cinco de estado de Guanajuato (Figura 12). El municipio de Morelia registra mayor población (72% del total de la cuenca) con una densidad de 220 habitantes por km², lo que implica una demanda significativa de agua para satisfacer las necesidades de esa población y de actividades económico-productivas como la industrial (Tabla 7) (Ávila, 2002, 2004 y 2006; INEGI, 2010a).

Figura 12. División política de la cuenca del lago de Cuitzeo.



Fuente: Elaboración propia en QGIS.

Tabla 7. Población de los tres municipios en la cuenca.

Clave	Municipio	Habitantes en la cabecera municipal	Población municipal (año 2010)
003	Álvaro Obregón	8,807	20,913
053	Morelia	597,511	729,279
088	Tarímbaro	6,049	78,623
			828,815

Fuente: INEGI 2010a.

En la tabla 8 aparecen las localidades del municipio de Morelia cercanas al Río Grande y el complejo inmobiliario Tres Marías, que se construyó hace una década cerca de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Morelia. Este complejo residencial está sobre 2,000 hectáreas y cuenta con un campo de golf profesional de 550 hectáreas, lo cual lo convierte en un actor sobresaliente en la demanda de agua.

Tabla 8. Localidades del municipio de Morelia cercanas al Río Grande.

Localidades	Habitantes
Morelia	597,511
La Aldea	6,162
San Juanito Itzicuaró	2,044
Atapaneo	1,965
La Mintzita	1,026
San Isidro Itzicuaró	902
Tres Marías (complejo inmobiliario)	837
Cointzio	732
Tabiqueros del Río Grande	678
Tirio	634
612,491	

Fuente: INEGI 2010b.

Las localidades de Tarímbaro (Tabla 9), cercanas al cauce del Río Grande tienen relevancia precisamente porque esta cercanía les provoca una serie de impactos negativos. Además en los últimos 15 años se ha conurbado con Morelia y padece la construcción descontrolada de fraccionamientos habitacionales en su demarcación, lo que ha significado más de 33 mil nuevos habitantes (Tabla 10).

En estos procesos de urbanización y especulación inmobiliaria, sobresale el hecho de que las tierras, otrora agrícolas del Distrito de Riego número 020 (DR-

020), se estén comercializando para dar paso a la expansión de la marcha urbana (INEGI, 2010b).

Tabla 9. Localidades rurales del municipio de Tarímbaro.

Localidades	Habitantes
Tejaro de los Izquierdo	3,716
Uruétaro	2,519
san pedro de los sauces	1,547
Colonia Miguel Hidalgo	1,026
Las Palmas	1,033
El Colegio	920
Cuitzillo Grande	787
Cuitzillo	178
Cuparataro	917
La Noria	625
San José de Trinidad	534
Lometón	250
	14,052

Fuente: INEGI 2010b.

Tabla 10. Fraccionamientos del municipio de Tarímbaro.

Fraccionamientos	Habitantes
Fraccionamiento Galaxia Tarímbaro	5,989
Fraccionamiento Metrópolis II	5,973
Real Hacienda (metrópolis)	3,921
Campestre Tarímbaro	2,774
Fraccionamiento Puerta del Sol	2,729
Fraccionamiento Haciendas del Sol	1,848
San Bernabé de las Canteras	1,688
Fraccionamiento Valle Real	1,594
Conjunto Habitacional el Trébol	1,441
Fraccionamiento San José de la Palma	1,407
Fraccionamiento Laureles Eréndira	1,290
Fraccionamiento Privadas del Sol	1,105
Fraccionamiento Erandeni i,ii y iv	950
Rinconada de los Sauces	708
	33,417

Fuente: INEGI 2010b.

Finalmente se enlistan las localidades del municipio de Álvaro Obregón asentadas cerca del lago de Cuitzeo que forman parte del DR-020. La mayoría de estas localidades son agrícolas, mientras las más cercanas al lago de Cuitzeo como; Chehuayo Grande, Chehuayito, Felipe Carrillo Puerto, La Presa, La Mina practican la pesca (Tabla 11).

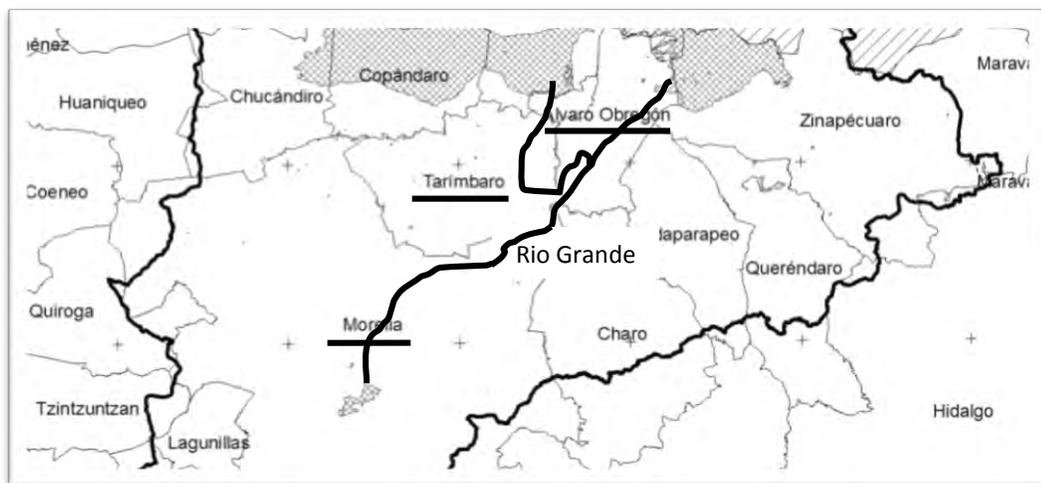
Tabla 11. Localidades del municipio de Álvaro Obregón.

Localidades	Habitantes
Álvaro Obregón	8,807
Sacapendo	1,500
Lázaro Cárdenas (La Purísima)	1,348
Felipe Carrillo Puerto	1,029
La Mina	937
El Calvario	837
La Presa	759
Las Trojes	650
Chehuayo Grande	605
Emiliano Zapata	563
Chehuayo chico	466
Isla de Tzirio (isla de los puercos)	441
Colonia El Venado	389
Palo Blanco	333
Temazcal	301
Quirio	245
Alto de Avilés	223
Tzintzimeo	219
León Cárdenas	168
	19,820

Fuente: INEGI 2010a.

De los tres municipios y sus localidades, la atención recae en el centro urbano más sobresaliente de la cuenca que es la ciudad de Morelia cuyas aguas residuales son insumo para las actividades agrícolas y pesqueras en los municipios de Tarímbaro y Álvaro Obregón en la cuenca baja (Figura 13).

Figura 13. Localización de Morelia, Tarímbaro y Álvaro Obregón.



Fuente: Elaboración propia en QGIS.

3.2 Fuentes de abastecimiento de agua en la cuenca

3.2.1 Fuentes subterránea

La fuente subterránea de abastecimiento para las sociedades de la cuenca es el acuífero Morelia-Queréndaro, el cual según el Diario Oficial de la Federación (8 de julio de 2010) presenta un déficit hídrico de 6,167,601 m³/año de agua (Tabla 12).

Tabla 12. Disponibilidad del acuífero Morelia-Queréndaro.

Clave	Acuífero	R	Dncom	Vcas	Cextet	Das	Déficit
1602	Morelia-Queréndaro	286.7	127.8	165.06	162.2	0.00	-6.16

R: Recarga media anual

Dncom: Descarga natural comprometida

Vcas: Volumen concesionado de agua subterránea

Vextet: Volumen de extracción de agua subterránea

Das: Disponibilidad media anual de agua subterránea

Fuente: Diario Oficial de la Federación 8 de julio de 2010 (DOF tomo DCLXXXII).

El líquido de este acuífero presenta calidad aceptable de acuerdo a datos de la CONAGUA (1997) que reporta al acuífero en estado de semi-equilibrio al presentar una relación de 0.90 y 0.94 (Tabla 13) (Rodríguez *et al*, 2012).

Tabla 13. Calidad del agua del acuífero (1997).

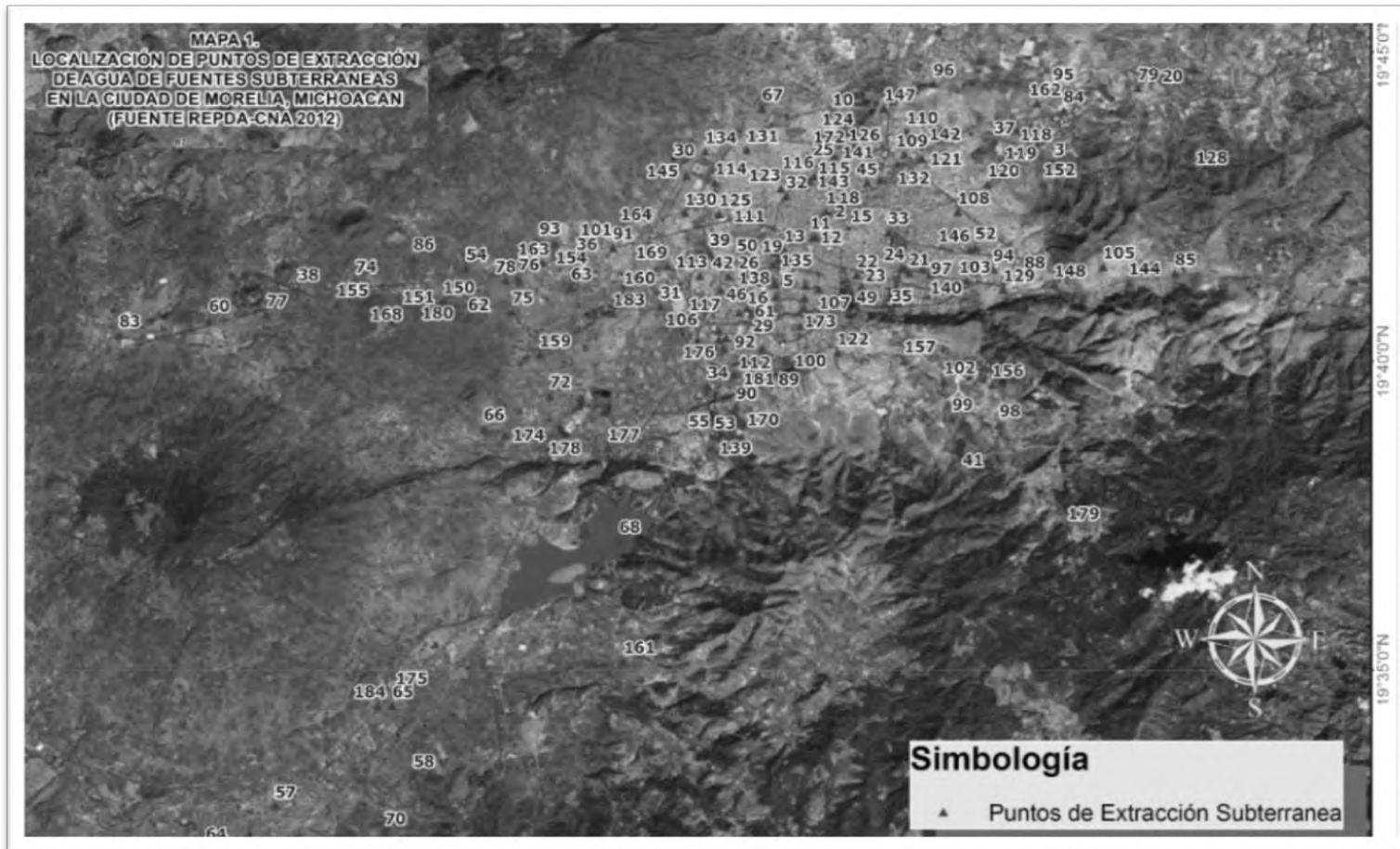
Parámetro	Medio	Máximo	Mínimo
Turbiedad (método NTU).	4.65	140.00	0.11
pH.	7.41	8.14	6.39
Color	40.66	1360	0.00
Conductividad eléctrica en Mmhos/cm.	299.08	700.00	70.00
Sólidos disueltos en ppm.	358.08	1626.00	72.00
Alcalinidad total.	234.2	468.00	30.00
Bicarbonatos.	232.12	468	30.00
Carbonatos.	1.76	24.00	0.00
Hidróxidos.	0.00	0.00	0.00
Dureza total en ppm.	161.8	376	24.00
Dureza de calcio en ppm.	61.9	166.00	12.00
Dureza de magnesio en ppm.	95.68	212.00	12.00
Sulfatos en ppm.	25.6	296.00	2.00
Cloruros en ppm.	31.08	314.00	6.00

Madrigal en 2005 también evaluó la calidad del agua del acuífero analizando el agua proveniente de 89 pozos que abastecen a la ciudad de Morelia, basándose en la NOM-127-SSA1-1994 (Norma que regula la calidad del agua para uso y consumo humano). El autor concluyó que la calidad del líquido del acuífero es aceptable, al encontrar que los parámetros del agua está dentro de los límites permisibles para consumo humano de acuerdo con la norma.

Debido a la calidad que presenta el agua del acuífero la cantidad de pozos para extraerla ha incrementado, sobre todo en la cabecera del municipio de Morelia como se muestra en la Figura 14. La localización de los pozos se realizó con los datos del Registro Público del Agua (CONAGUA, REPDA 2012).

Las concesiones que la CONAGUA a otorgado al municipio de Morelia, le permite extraer aproximadamente de esta fuente subterránea 35, 000,000 m³/año de agua (38% del total que demanda), según datos proporcionados por el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Morelia (OOAPAS, 2013).

Figura 14. Ubicación de fuentes de extracción de agua subterránea.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, REPDA, 2013.

3.2.2 Fuentes superficiales

De acuerdo con el OOAPAS (2013), el agua superficial extraída para la ciudad asciende a más de 56 millones de m³/año, provenientes de diversas fuentes (Tabla 14).

Tabla 14. Gasto de las fuentes de abastecimiento.

Fuentes de abastecimiento	m ³ /año
Manantial La Mintzita	32,963,746
Presa Cointzio	19,692,089
Manantiales El Salto y La Higuera	1,293,280
Manantial San Miguel	2,120,461
Total	56,069,576

Fuente: OOAPAS (2013).

Las fuentes más importantes son; el manantial de La Mintzita y la presa Cointzio. El primero es un sitio RAMSAR (humedal de importancia ecológica con alcance internacional), se encuentra bajo status de protección por organismos nacionales e internacionales (Ramsar, 2012).

El agua de este manantial se caracteriza es somera, con temperatura cálida, pH neutro y bajas concentraciones de nutrientes y con adecuada oxigenación (Figura 15). El manantial era reserva de agua destinada para la ciudad de Morelia, sin embargo hoy en día el líquido es aprovechado por una empresa papelera desde hace 40 años (Gómez, 2003; Ortega-Murillo *et al*, 2007, Cruz, 2009).

Figura 15. Manantial La Mintzita.



Lindig 2010

La problemática por el agua de manantial de la Mintzita, inició cuando la empresa (inicialmente CRISOBA, hoy en día es Kimberly-Clark de México, Planta Morelia) se asentó en sus inmediaciones. El aprovechamiento del manantial estaba asignado por decreto presidencial para la ciudad de Morelia, pero la empresa papelera se asentó y a través de un permiso no oficial logró aprovechar el agua del manantial. Cuestión que se volvió un conflicto con el municipio de Morelia y tras muchos años la empresa no dejó de usar el agua para su producción. En 1995 la nueva la Ley de Aguas Nacionales permitió a la papelera una concesión para aprovechar el manantial, cuyo volumen asignado representaba el déficit de agua de la ciudad. Para cubrir el déficit de agua existente, tuvo que perforar pozos profundos para abastecer a la población (Ávila, 2007).

La otra fuente de agua para la ciudad es la Presa de Cointzio, que tiene una capacidad para almacenar 84,000,000 de m³/año de agua, de los cuales 10 millones corresponden a la capacidad de azolve y 48 millones es agua destinada al DR-020 y 26 millones son para la ciudad de Morelia (Figura 16). La presa se construyó en 1939 exclusivamente para dotar de agua a agricultores de Tarímbaro, Álvaro Obregón y Queréndaro, pero en 1945 empezó a dotar de agua a la ciudad de Morelia. Cabe señalar que las aguas que concentra la presa nacen en parta alta de la sub-cuenca del Río Grande, que pertenece a la cuenca del lago de Cuitzeo (CONAGUA 2015; Ávila, 2006).

Figura 16. Presa Cointzio.



Rosiles, 2013.

Otra fuente de agua superficial importante en la cuenca, pero que no abastece a la ciudad de Morelia, es la Presa de Malpaís ubicada al sureste de la cuenca muy cerca del lago de Cuitzeo la cual almacena 23,740,000 millones de m³/año. De esta cantidad 20 millones se destinan para el riego agrícola en el DR-020 (Romero *et al*, 2003).

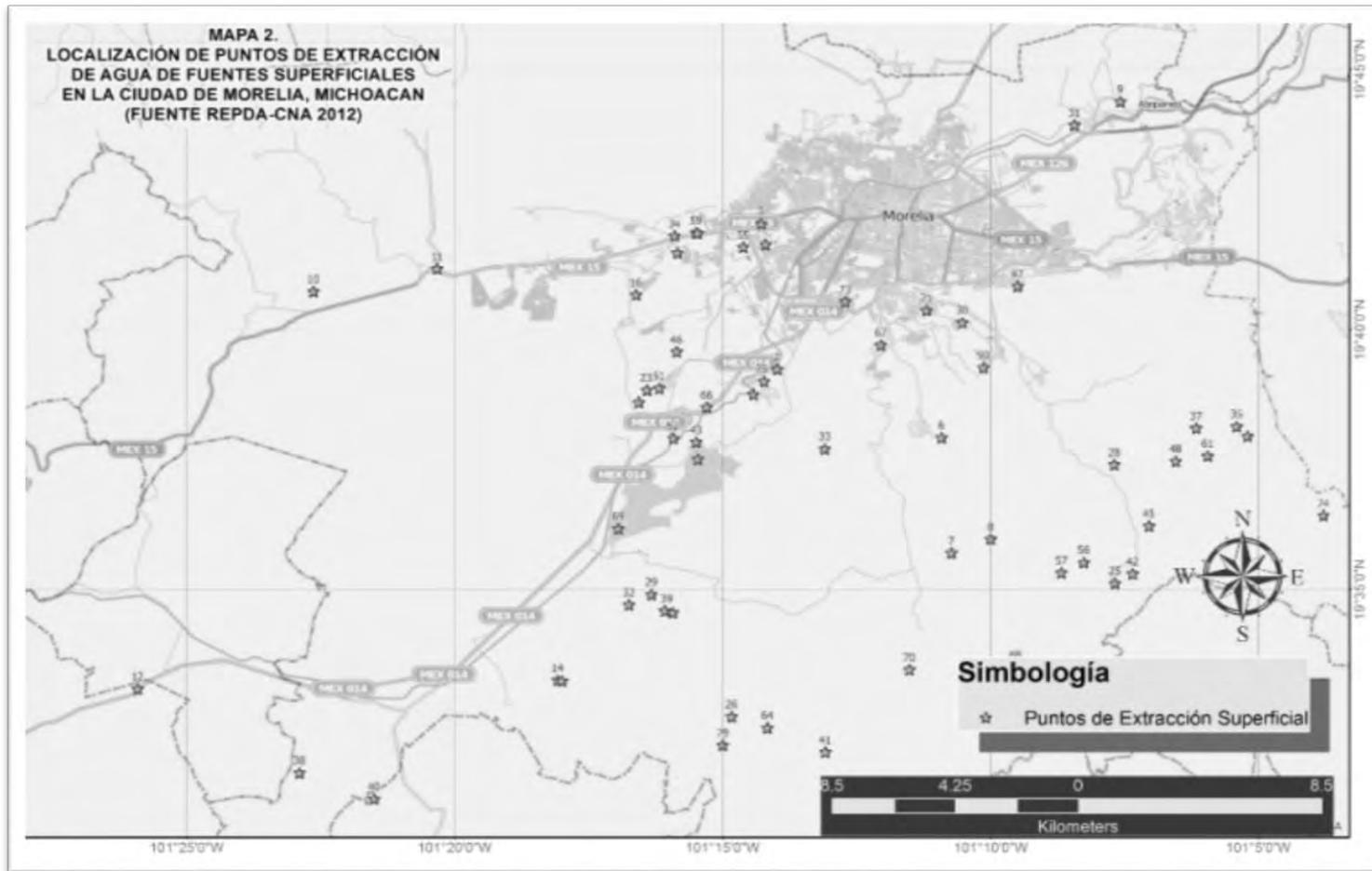
El agua superficial proveniente de la Presa de Cointzio recibe potabilización en la planta Sta. María ubicada en la ciudad de Morelia (Figura 17). Este proceso se lleva a cabo a través de clari-floculadores, filtros de arena, tanques de sulfato de aluminio, cloración, con capacidad para tratar 700 l/s (OOAPAS, 2013).

Figura 17. Plantas potabilizadoras de la Mintzita y Santa María.



Boletín OOAPAS 2015.

Figura 18. Ubicación de fuentes de agua superficial.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, REPDA, 2012.

3.3 La ciudad de Morelia: uso urbano e industrial del agua

El agua concesionada por la CONAGUA al municipio de Morelia se muestra en la siguiente tabla, donde se describen los sectores del municipio que demandan agua y las cantidades que consumen al año (Tabla 15) (CONAGUA, REPDA, 2012).

Tabla 15. Aprovechamiento del agua por sectores en Morelia.

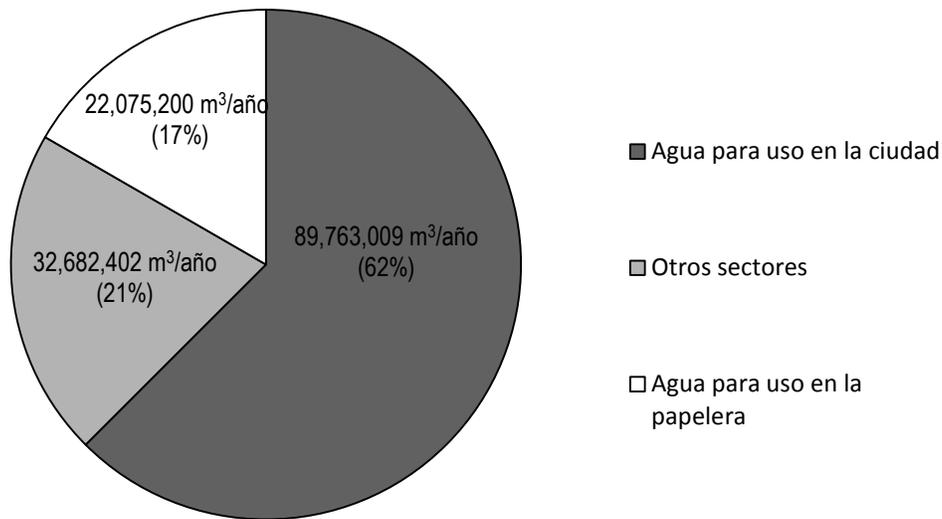
Sector	m ³ /año
Público urbano	89,763,009.00
Industria	24,803,657.00
Generación de energía	17,125,000.00
Agrícola	9,489,210.40
Múltiple	1,633,888.12
Servicios	918,954.18
Doméstico	530,922.65
Acuacultura	217,598.40
Pecuario	38,371.26
Total	144,520,611.01

Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA, 2013.

Al municipio de Morelia le corresponden 144,520,611 m³/año, de los cuales casi 89,763,009 son para uso público urbano en el municipio y 54,757,602 son para usos diversos (industrias y generación de energía eléctrica).

Para fines prácticos de la investigación los usos del agua por sectores (Tabla 15) se resumen en tres: uso público urbano que comprende a la población urbana; mientras el uso de otros sectores incluye a la industria, generación de energía eléctrica, agrícola, múltiple, servicios, doméstico, acuacultura y pecuario. Cabe hacer mención que para fines comparativos el uso del agua de la industria empresa papelera se maneja aparte de los otros sectores para dimensionar la magnitud de su consumo (Figura 19).

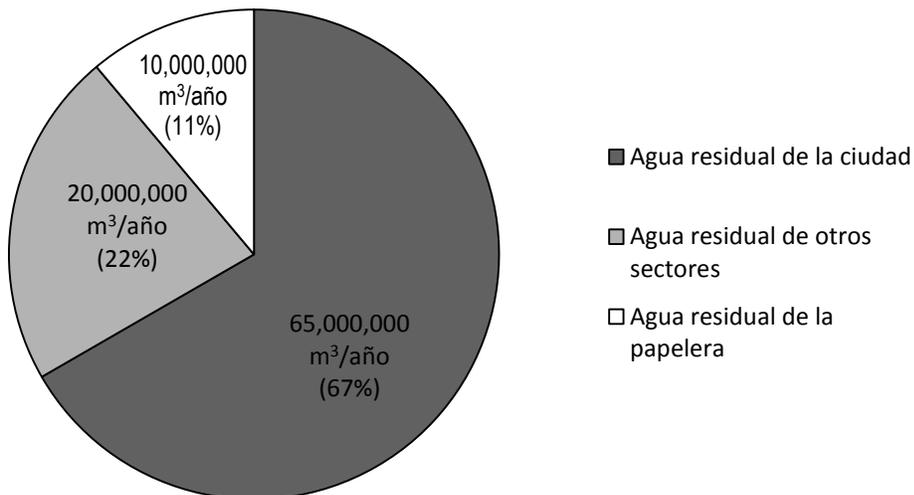
Figura 19. Agua concesionada para uso urbano, empresa papelera y otros sectores.



Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA, CONAGUA, 2013.

De casi 90 millones m³/año de agua que consume la ciudad, genera 65 millones de aguas residuales. De esta cantidad 45 millones se captan en la red de drenaje municipal; mientras el resto que son 20 millones de se vierten a los Ríos Chiquito y Grande. Las aguas residuales de otros sectores asciende a 20 millones m³/año, mientras la industria papelera genera aproximadamente 10 millones (Figura 20) (CONAGUA, REPDA 2013).

Figura 20. Aguas residuales en el municipio de Morelia (urbano, industria papelera y otros sectores)

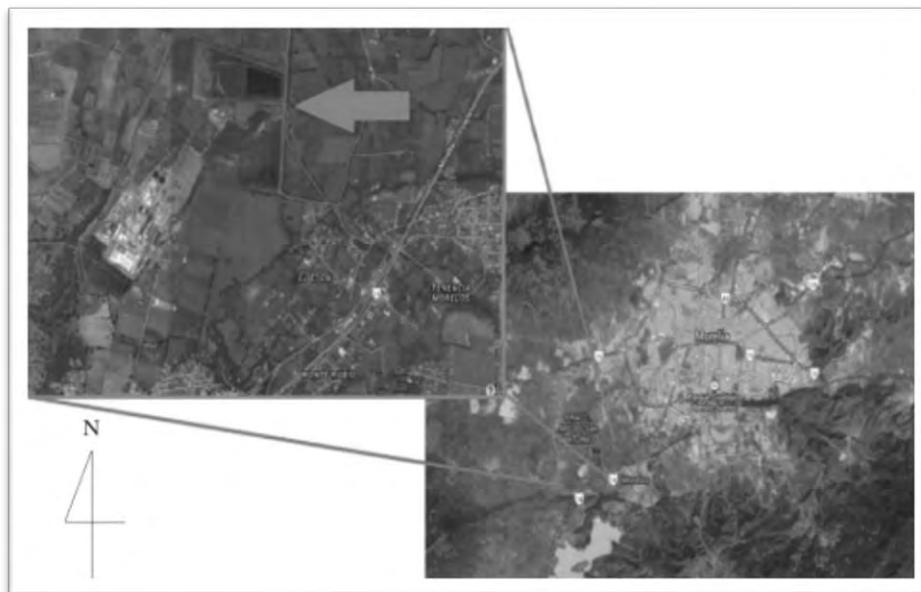


Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA, CONAGUA, 2013.

Estas cifras coinciden con datos de estudios realizados en la ciudad de México y Guadalajara, donde el agua residual generada es aproximadamente 50% del total que consume (OOAPAS, 2013; Breña *et al.*, 2009, De la Peña, *et al.*, 2013).

Las cifras de la Figura 20 hacen énfasis en las aguas residuales de la industria papelera Kimberly Clark de México-Planta Morelia (KCM) ya que estas contienen las sustancias más contaminantes, como resultado de sus procesos de producción de celulosa de madera (larga y corta), la manufactura de papel tissue, papeles para escritura e impresión y en la conversión de papel higiénico y toallas de papel para cocina. La empresa se ubica en la parte media-alta de la cuenca, cerca de la presa Cointzio y del manantial de la Mintzita de la cual extrae el agua que utiliza (Figura 21).

Figura 21. Localización de la empresa papelera, aguas arriba de Morelia.



Fuente: Imágenes de Google Earth, 2013 y adaptada.

Las aguas residuales de la industria papelera se consideran dañinas por los efectos que causan en el medio ambiente y en la salud de los seres vivos. Estas aguas contienen un alta Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno, sulfuros, subproductos de la lignina, que se generan en el proceso de pulpeo y son

sustancias difíciles de degradar por la estructura demasiado estable que tienen como macromoléculas. Tales subproductos se producen en la deslignificación de la celulosa donde se forman otros desechos orgánicos clorados, que también son tóxicos y afectan a los cuerpos receptores de agua (Figura 22) (OMS, 1990; Pérez *et al.*, 1997; Metcalf, 1998; Vainio *et al.*, 2004).

El saneamiento de estas aguas ha resultado poco efectivo en varias partes del mundo, debido a que los procesos más avanzados de oxidación no degradan las moléculas de origen vegetal, ya que se caracterizan por ser resistentes a los ataques de radicales hidroxilos. Por ello los microorganismos no logran la transformación total de estas macromoléculas y en estas condiciones son vertidas al medio ambiente (Salamanca, 2009).

Figura 22. Descarga de la empresa papelera al Río Grande.



Fotografía: Gersain Quiahua A. Morelia, 2012.

La industria papelera debe cumplir con las diferentes regulaciones vigentes en el país a nivel federal, local y municipal en materia ambiental y de uso de agua, entre las que destacan la NOM-CCA-015-ECOL-1993, la cual impone los límites permisibles de contaminantes en sus descargas a los cuerpos receptores.

Sin embargo en caso de que se identifiquen que los parámetros generales de descarga son rebasados constantemente, se procede a aplicar condiciones particulares de descarga para establecer límites máximos a parámetros más estrictos entre los que se encuentran (Tabla 16).

Tabla 16. Parámetros a evaluar en descargas de la industria papelera o de la celulosa.

Parámetros generales	Parámetros particulares
pH, Demanda bioquímica de oxígeno, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Grasas y aceites.	Alcalinidad/acidez, Color, Demanda química de oxígeno, Metales pesados, Nitrógeno amoniacal, Sólidos disueltos totales, Sulfitos, Temperatura Tóxicos orgánicos.

Fuente; Elaboración propia basado en la NOM-CCA-015-ECOL-1993.
Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se consideran los incluidos en el Anexo A de la norma oficial mexicana NOM-CCA-001-ECOL/1933.

3.4 Planta de tratamiento de aguas residuales de Morelia

El agua residual de la ciudad de Morelia captada en la red de drenaje (45,000,000 m³/año) es dirigida hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en el ejido de Atapaneo (límites de Morelia con el municipio de Charo). La planta opera bajo la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

La PTAR está concesionada a una empresa particular y opera a través del sistema biológico de lodos activados. La planta tiene una capacidad de tratamiento de 1,200-2160 l/s, pero actualmente trata 1,100 l/s, opera las 24 hrs/día los 365 días/año. Es decir trata alrededor de 35 millones m³/año (Información recabada en visita a la planta en 2013) (Figura 23 y 24).

Figura 23. Planta Tratadora en el ejido de Atapaneo, Morelia.



Fotografía: Gersain Quiahua A. Ejido Atapaneo, Morelia, 2014.

El agua se trata a través de filtros biológicos en tres módulos con capacidad para 400 l/s. El proceso inicia con un tratamiento preliminar, un sedimentador primario y secundario, filtros, reactores biológicos, unidades de desinfección y unidades de recirculación, todo en base a la normatividad correspondiente (Información recabada en visita a la planta en 2013).

Figura 24. Planta Tratadora de Aguas Residuales de Atapaneo.



Fotografía: Gersain Quiahua A. Ejido Atapaneo, Morelia, 2012.

El agua residual de la industria papelera (10,000,000 de m³/año) va directamente al Río Grande, juntándose con el agua limpia que viene de la Presa Cointzio, que está concesionada para el riego agrícola en el DR-020 (60,000,000 m³/año). Más adelante el río se mezcla con el agua residual de la ciudad de Morelia que no es captada en la red de drenaje (20, 000,000 m³/año), así como el agua de otros sectores (20,000,000 m³/año). Es decir que el Río Grande de Morelia transporta alrededor de 100,000,000 de m³/año de aguas residuales, las cuales no reciben tratamiento. Sin embargo después de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual de Atapaneo, estas aguas no tratadas que van en el Río Grande se mezclan con las aguas tratadas (Figura 25).

Figura 25. Punto de “saneamiento” del Río Grande con agua de la PTAR.



Fotografía: Gersain Quiahua A. Ejido Atapaneo, Morelia 2013.

En resumen, el aprovechamiento del agua limpia en el municipio de Morelia en total es de 144,520,611 m³/año de agua concesionada para diferentes usos: 90 millones de m³/año para uso público urbano, 54,000,000 para otros sectores de los que sobresale la empresa papelera con 24,000,000. Por otra parte las aguas residuales ascienden en total a 95 millones de m³/año, de los cuales: 65,000,000 m³/año corresponden a las descargas de la ciudad de Morelia y 30,000,000

m³/año a otros sectores, de los cuales 10,000,000 m³/año son de la industria papelera. Del total de aguas residuales generadas solo se tratan 35,000,000 m³/año en la Planta de Atapaneo (Tabla 17) (OOAPAS, 2013).

Tabla 17. Consumo de agua por sector (Público urbano, otros sectores e industria papelera) y generación de aguas residuales en millones de m³/año.

	Agua concesionada por sectores (m ³ /año)	Aguas residuales producidas por sectores (m ³ /año)	Aguas tratadas por sector (m ³ /año)
Ciudad de Morelia	89,763,009	65,000,000	35,000,000
Otros sectores	32,682,402	20,000,000	--
Industria papelera	22,075,200	10,000,000	--
Total	144,520,611	95,000,000	35,000,000

Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA, CONAGUA, 2013.

3.5 Zona rural de la cuenca baja: Uso del agua en la agricultura y pesca

El uso del agua en la zona rural de la cuenca es básicamente para actividades domésticas y actividades como la agricultura y la pesca. Actualmente el suelo de la cuenca se usa para diferentes actividades agropecuarias (Tabla 18), para esta investigación solo interesa describir y conocer las actividades agrícolas y pesqueras donde el agua es un elemento fundamental para la producción.

Los municipios analizados en este apartado son Tarímbaro y Álvaro Obregón, por su cercanía con la ciudad de Morelia y porque históricamente han aprovechado el agua proveniente de la presa Cointzio a través del Río Grande. Sin embargo en los últimos 40 años las aguas que llegan a través del río ya no cuentan con la calidad suficiente para mantener un bienestar de vida aceptable, provocando malestares tanto a nivel personal, comunitario y de actividades económicas en esa zona rural.

Tabla 18. Uso del suelo en los municipios de estudio.

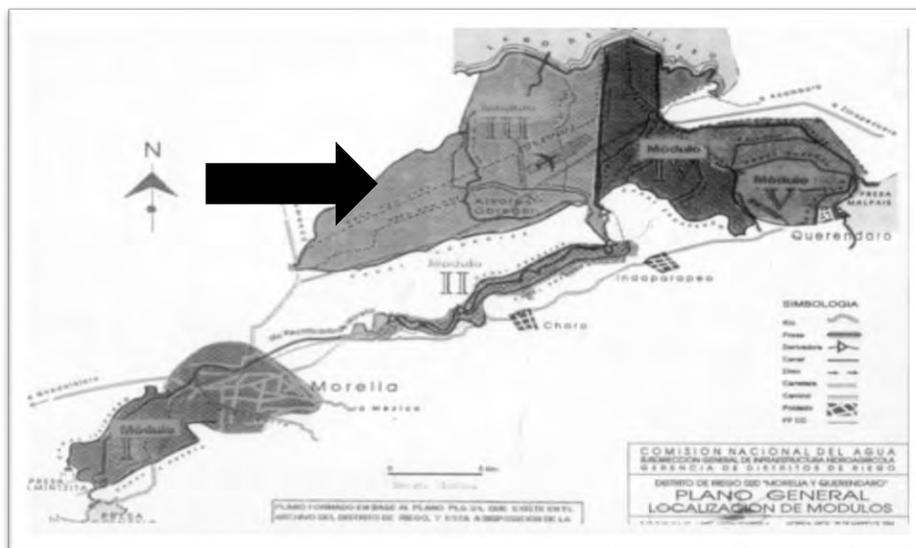
	Agrícola	Pecuario	Forestal	Otros usos
Álvaro Obregón	11,264	497	-	2,780
Morelia	37,177	28,584	51,870	-
Tarímbaro	20,894	4,664	-	1,013
Total	69,335	33,745	51,870	3,793

Fuente; INEGI 2000.

a) Agricultura

La producción agrícola en la cuenca se organiza en el Distrito de Riego 020 (DR-020) Morelia-Queréndaro, este Distrito se integra de seis módulos de riego (Figura 26 y Tabla 19), siendo el de mayor extensión el módulo III que abarca los municipios de Álvaro Obregón y Tarímbaro en donde se riegan más de 8 mil hectáreas de cultivos con las aguas que transporta el Río Grande de Morelia.

Figura 26. Ubicación del módulo III en el DR 020 Morelia – Queréndaro.



Fuente: Archivo electrónico proporcionado por personal del Módulo III 2013.

Tabla 19. Módulos de riego que forman el Distrito de Riego 020.

	Asociación	Superficie (ha)	Usuarios
I	Asociación Usuarios de aguas de Morelia, A.C.	1,289	395
II	Asociación Usuarios del Río Grande de Morelia.	1,135	386
III	Asociación Agricultores de valle de Álvaro Obregón-Tarímbaro, A.C.	8,813	2,487
IV	Asociación del Canal de Zacapendo, A.C.	3,651	900
V	Asociación Usuarios de la Presa Malpaís, A.C.	4,758	1,342
VI	Asociación usuarios de Lázaro Cárdenas - Manantial - Chapultepec, A.C.	1,019	410
Total		20,665	5,920

Fuente: Macías, 1997.

De acuerdo con Macías (1997) el agua para regar todo el riego del DR-020 asciende a más de 158,814,000 m³/año, proveniente de varias fuentes de abastecimiento repartidas de la siguiente manera (aproximadamente):

- 62 millones m³/año (40%) de la Presa Cointzio.
- 44 millones m³/año (28%) del Río Grande de Morelia.
- 23 millones m³/año (15%) de la presa Malpaís.
- 27 millones m³/año (17%) de los pozos de bombeo.

El agua que riega los campos en el módulo III (Álvaro Obregón y Tarímbaro) proviene de la presa Cointzio, la cual es entregada por la CONAGUA, a través del Río Grande de Morelia para regar más de 8 mil hectáreas de avena forrajera, cártamo, chile, gavano, trigo, frijol, maíz, sorgo, alfalfa (Tabla 20).

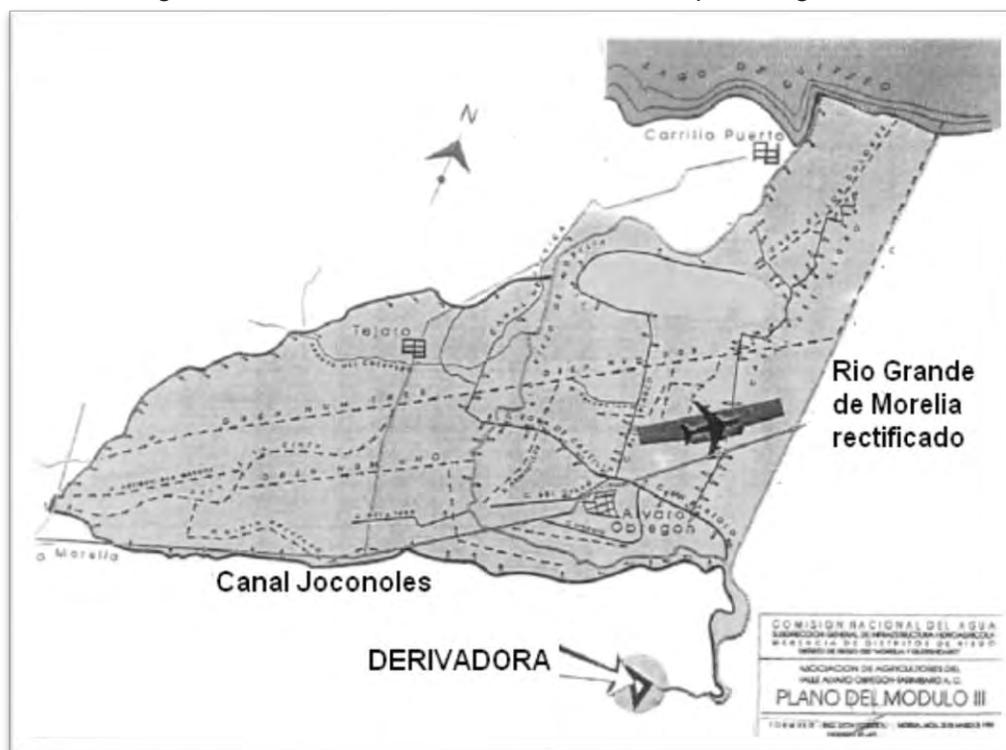
Tabla 20. Cultivos y de agua utilizada en el módulo III (año 2014).

Ciclo	Cultivo	Hectáreas	Volumen de agua (millones m ³ /año)
Otoño-Invierno	Avena forrajera	626	4,749
Otoño-Invierno	Cártamo	10	19
Otoño-Invierno	Chile	20	74
Otoño-Invierno	Garbanzo	90	171
Otoño-Invierno	Trigo grano	630	5,733
Primavera-Verano	Frijol	18	67
Primavera-Verano	Maíz	2,460	4,598
Primavera-Verano	Sorgo	2,071	3,935
Perennes	Alfalfa	1,650	17,985
Segundos cultivos	Maíz grano	390	741
Segundos cultivos	Sorgo grano	190	361
Total		8,155	38,433

Fuente: Información por escrito proporcionada por el Módulo III DR 020. 2014.

Antes de que el Río Grande ingrese al módulo, es derivado por la presa Tirio en dos canales: el primer canal (Joconoles) da origen a una red de canales que abastecen al módulo a través de 37.5 km de canales principales, 30.0 km de laterales, 77.2 km de sub-laterales. Es en estos canales donde los fraccionamientos de Tarímbaro vierten sus desechos. El otro canal, conocido como Río Grande rectificado continúa su curso hasta desembocar al lago de Cuitzeo (Figura 27).

Figura 27. Río Grande de Morelia derivado para riego.



Fuente: Archivo electrónico proporcionado por personal del Módulo III 2013.

El módulo III está integrado por 38 ejidos con 5,993 ha y 1,982 usuarios, mientras la pequeña propiedad representa 2,829 ha y 505 usuarios (Tabla 21) (Macías, 1997).

Tabla 21. Usuarios y hectáreas del módulo III.

Tipo de propiedad	Hectáreas	Usuarios
Ejidal	5,993	1,982
Privada	2,829	505
Total	8,822	2,487

Fuente: Macías, 1997

También dentro del módulo III se localizan Unidades de Riego las cuales riegan las parcelas con agua del acuífero Morelia-Queréndaro a través de su extracción por pozos profundos. Cabe señalar que desde 1987 este acuífero está

vedado, debido a su situación deficitaria en que se encuentra y solo algunas concesiones pueden aprovecharlo para el riego de hortalizas y verduras (Gaona, 2013).

b) Pesca

En cuanto a la actividad pesquera en la cuenca, esta se lleva a cabo con mayor frecuencia en la riera del lago de Cuitzeo siendo una actividad practicada desde la época prehispánica. Actualmente esta actividad se encuentra en situación de vulnerabilidad, pues el deterioro ambiental que se padece en la cuenca y particularmente del lago de Cuitzeo ha provocado que el agua del lago presente niveles de contaminación poniendo en riesgo el tamaño de las poblaciones de peces que son extraídas, las cuales representan el sustento económico de las familias de los pescadores (Pompa *et al.*, 1995).

La pesca en la cuenca ha sido una actividad económica que ha variado en los últimos 50 años; en los años 1960 se basó en la captura de charal (*Chirostoma spp*) siendo una etapa de crecimiento en la producción del sector, posteriormente vino una etapa de baja en la captura de peces por un evento natural de desecamiento del lago, a partir de entonces se realizaron obras de rehabilitación y conservación del cuerpo de agua lo que generó una ligera recuperación del sector en términos económicos (Pompa, 1995).

Actualmente del lago se extrae del lago Carpa (*Cyprinus carpio*), Mojarra (*Diplodus vulgaris*) y Rana Toro (*Rana catesbeiana*) por medio de artes de pesca tradicional como las fisgas, la red agallera o el chinchorro. También en el lago existen especies introducidas que son explotadas, como especies de la familia Atherinidae y Cichlidae (COMPESCA, 2013).

El sector cuenta con 1,625 pescadores que se agrupan en 31 organizaciones. Este esquema, a decir de ellos, les permite tener mayor acceso a programas gubernamentales y así tener más oportunidades para mejorar la actividad y sus condiciones de vida (Tabla 22) (COMPESCA 2013).

Tabla 22. Organizaciones pesqueras del lago de Cuitzeo.

Municipio	Localidad	Organización	Socios
Álvaro Obregón	La Presa	U. de P. La Presa	81
Álvaro Obregón	Felipe Carrillo Puerto	U. de P. Felipe Carrillo Puerto	32
Álvaro Obregón	Cehuayo	U. de P. Cehuayo Grande	22
Álvaro Obregón	Cehuayito	U. de P. Genovevo Figueroa	26
Álvaro Obregón	Isla Tzirio	U. de P. Álvaro obregón	49
Álvaro Obregón	Isla Tzirio	U. de P. Las Palmas	38
Álvaro Obregón	La Mina	U. de P. La Esperanza	170
Cuitzeo	La Noria	U. de P. José María Morelos	28
Cuitzeo	Cuamio	U. de P. Emiliano Zapata	33
Cuitzeo	Barrio de los Cerritos	U. de P. Laguneros de Cuitzeo	34
Cuitzeo	Cuitzeo	U. de P. Los Granados	34
Cuitzeo	Barrio los Cerritos	U. de P. Los Cerritos	33
Cuitzeo	Mariano Escobedo	U. de P. Mariano Escobedo	91
Cuitzeo	Mariano Escobedo	U. de P. Península de Mariano	116
Cuitzeo	Mariano Escobedo	U. de P. San Lorenzo	80
Cuitzeo	Mariano Escobedo	U. de P. Galeana	67
Cuitzeo	San Juan Tarameo	U. de P. Benito Juárez	52
Chucandiro	Chucandiro	U. de P. Rivera del lago	38
Huandacareo	Capacho	U. de P. San Pedro	46
Sta. Ana Maya	Santa Ana Maya	U. de P. El Tecolote	74
Sta. Ana Maya	La Lobera	U. de P. San Isidro	34
Sta. Ana Maya	La Lobera	U. de P. Santa Cruz	26
Sta. Ana Maya	San Nicolás Cuitzeo	U. de P. San Nicolás	31
Sta. Ana Maya	San Rafael	U. de P. San Rafael	60
Zinapécuaro	Estación Queréndaro	U. de P. Estación Queréndaro	69
Zinapécuaro	Estación Queréndaro	U. de P. Francisco I. Madero	59
Zinapécuaro	Col. San Bernardo	U. de P. San Bernardo	20
Zinapécuaro	Coro	U. de P. Colonia de Coro	37
Zinapécuaro	San Bartolomé Coro	U. de P. Gral. Feliz Ireta	60
Zinapécuaro	San Bartolomé Coro	U. de P. San Bartolomé Coro	61
Zinapécuaro	Francisco Villa	U. de P. Francisco Villa	24
			1,625

Fuente: COMPECA 2013.

Las comunidades pesqueras padecen varios problemas, uno de ellos es que no pueden comercializar su producto por la falta de capacidad técnica y redes de comercialización. Aunque el obstáculo más importante es que el producto no cuenta con amplia aceptación entre los consumidores debido a que el lago se encuentra contaminado. Los impactos negativos que padece actualmente este sector se verán más detalladamente en el capítulo siguiente.

Además de la agricultura y de la pesca, en la cuenca se realizan otras como la ganadería, que es una actividad que interesa en la investigación pues ocupa 39.32% de superficie de la cuenca y demanda grandes cantidades de agua, también por generar aguas residuales con altos niveles de contaminantes por las sustancias químicas que utilizan en la alimentación del ganado. Si bien no se describen directamente esta actividades, están implícitas en la problemática ya que esta práctica está fuertemente relacionada con los procesos de deforestación en la cuenca (Sánchez, 2010)

La actividad ganadera se realiza en los municipios cercanos a la ciudad de Morelia, para abastecer a la capital del estado con lo que queda reafirmada la relevancia de Morelia como el centro de población dominante en la cuenca. (Tabla 23).

Tabla 23. Producción ganadera en la cuenca.

Municipio	Porcino	Bovino	Caprino	Ovino	Aves
Álvaro Obregón	20,809	15,950	2,770	558	110,207
Morelia	20,400	28,699	5,108	2,842	5,521,261

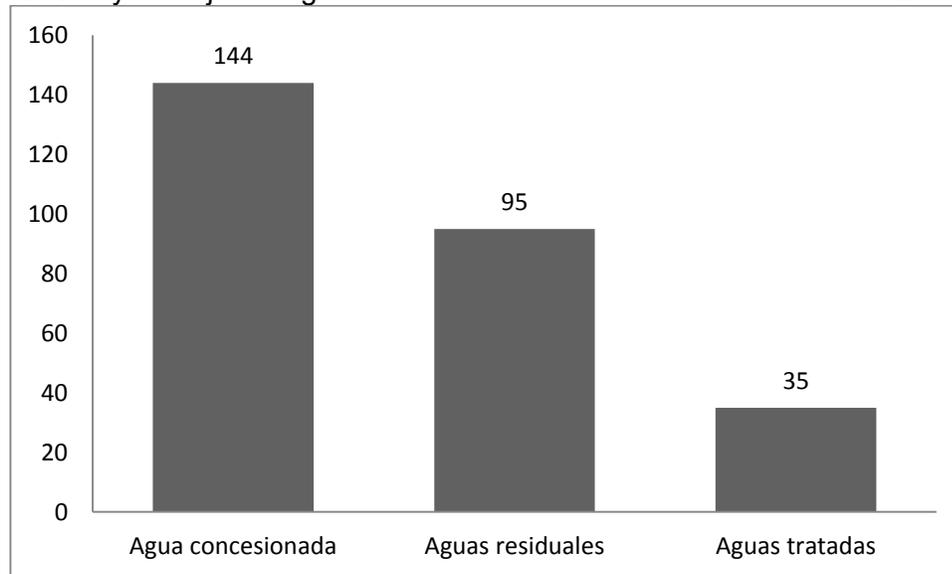
Fuente: INEGI. 2010c

3.6 Reflexión capitular

En la cuenca de Cuitzeo las sociedades realizan actividades de los tres sectores productivos: el sector primario está representado por las actividades forestales que se practican en la parte alta, así como la agricultura (Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro), la ganadería y la pesca en la cuenca baja; el sector secundario correspondiente a actividades industriales y el terciario a servicios, ambos se concentran en la ciudad de Morelia.

Dentro de la cuenca, Morelia tiene una demanda importante de agua: 144 millones de m³/año y desecha poco más de 90 m³/año de aguas residuales, de la cual solo sana 35 m³/año (Figura 28).

Figura 28. Uso y manejo del agua en la ciudad de Morelia en millones de m³/año.



Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA, CONAGUA, 2013.

Las fuentes superficiales de agua para la ciudad de Morelia como la Presa Cointzio y el manantial de la Mintzita presentan bajos niveles de contaminación lo que se soluciona con potabilización, mientras que el agua de las fuentes subterráneas se considera de buena calidad y no requiere ser potabilizada.

Luego de que el agua se extrae es distribuida a los sectores de la ciudad como el industrial, el doméstico, público urbano o de servicios. De estos la atención se centra en el industrial en el cual sobresale la empresa papelera

Kimberly Clark de México-Planta Morelia, por aprovechar parte de las aguas del manantial La Mintzita. Es importante mencionar que el manantial es uno de los sitios con mejor calidad de agua en la cuenca y se encuentra bajo protección RAMSAR.

El Río Grande transporta alrededor de 100 millones de m³/año siendo una mezcla de aguas de la presa Cointzio con destino al módulo III del DR-020, aguas residuales de la papelera y aguas residuales domésticas de la ciudad que no son tratadas.

Otra parte de las aguas residuales que desecha Morelia se conducen por un sistema de colectores que van a la planta de tratamiento de Atapaneo, donde se sanean 35 millones de m³/año, las cuales se vierten al Río Grande (justo donde termina la ciudad).

La efectividad de tal saneamiento es dudosa, ya que solo un pequeño porcentaje de las aguas residuales recibe tratamiento, por lo que los niveles de contaminación del Río Grande siguen sin cambios sustantivos.

El saneamiento del río es un proceso deficiente y resulta preocupante, pues en la parte baja de la cuenca esas aguas son un insumo en actividades agrícolas y pesqueras así como para ecosistemas como el lago de Cuitzeo. La importancia de esta zona baja es que históricamente ha sido productora de alimentos (vegetales, hortalizas, carne y pescado) que abastecen a la ciudad de Morelia, pero por la constante llegada de las aguas en los últimos años, estas actividades se han reducido debido a que la baja calidad del agua que reciben por medio del Río Grande de Morelia, que no es apta para producir alimentos de consumo directo por humanos ni la producción de alimentos.

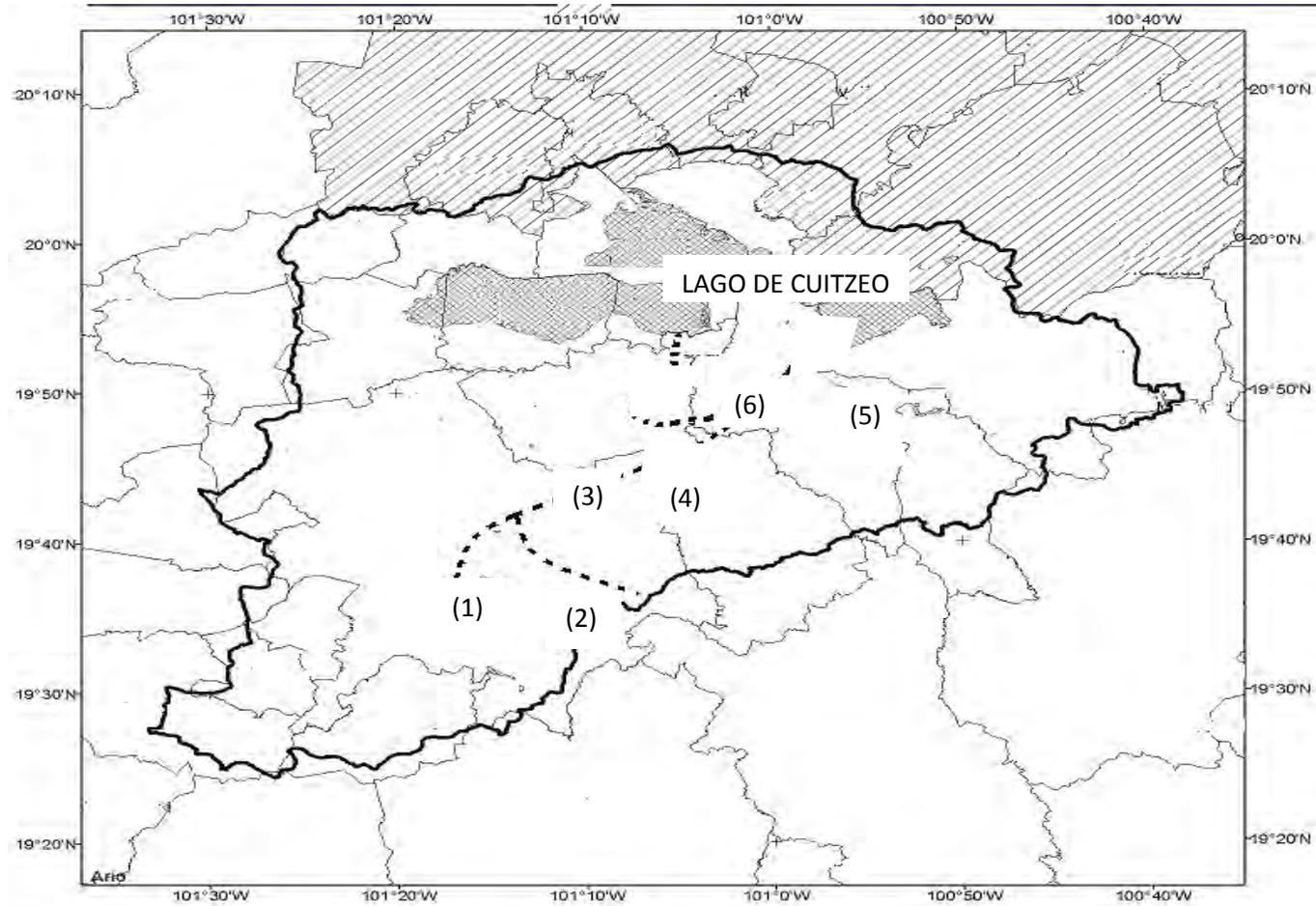
4. IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL.

El Río Grande con sus aguas contaminadas llega a la cuenca baja, después de cruzar la ciudad de Morelia, atraviesa varias localidades rurales hasta llegar al lago de Cuitzeo y provoca una serie de impactos ambientales y sociales.

La descripción de los impactos ambientales (en el Río Grande y en el Lago de Cuitzeo) se realizó con base en varios estudios de calidad del agua del Río Grande. Los impactos sociales de la contaminación se documentaron con el trabajo de campo, que se apoyó en entrevistas a los habitantes de la comunidad de Uruétaro, a los agricultores del Módulo III y a los pescadores del Lago de Cuitzeo.

En la Figura 29 se observa la trayectoria del Río Grande por la cuenca del lago de Cuitzeo y los lugares que atraviesa desde su parte alta, media y baja.

Figura 29. Ruta del Rio Grande hasta el lago de Cuitzeo: salida en la Presa Cointzio (1), Ciudad de Morelia (2), Unión con el Rio Chiquito (3), PTAR (4), Derivadora (5), , Rio en el Modulo III (6).



4.1 Impactos ambientales del agua residual en la cuenca

4.1.1 Estado actual del Río Grande

En la última década del siglo pasado hubo protestas sociales en contra de la industria papelera ubicada en la cuenca. Tales protestas lograron que fuera clausura (temporalmente), por los daños que generaba sus aguas residuales en la cuenca baja pues no cumplía con la normatividad que se le había impuesto en 1983, la cual contemplaba condiciones generales para su descarga (pH, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites) así como condiciones particulares (temperatura, color, sólidos disueltos, alcalinidad). Además la Absorción de Sodio (RAS) era un parámetro que se encontraba fuera de los límites permisibles y afectaba las tierras de los agricultores por la salación de sus suelos en el DR-020 (Avila, 1994).

Sin embargo se habían dejado fuera otros parámetros como: demanda química de oxígeno, nitrógeno amoniacal, sulfitos, metales pesados y tóxicos orgánicos, lo que estaba generando que los niveles de contaminación del río aumentaran constantemente.

Estudios recientes sobre la calidad del agua del río basado en los parámetros de la CONAGUA (DQO y DBO₅) demuestran que la descarga de agua es la que aporta los contaminantes más dañinos.

El parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) determina la cantidad de oxígeno que se consume al degradar materia en una muestra de agua y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la concentración de materia orgánica en el agua y que puede ser oxidada a través de medio químicos. Ambos parámetros se miden en unidades de mg/l, a mayor cifra de mg/l de una muestra la contaminación en el agua también es mayor (Tabla 22 y 23).

Los estudios consultados para ilustrar el estado que guarda el Río Grande son dos realizados por Mathuriau (2010a y 2010b), datos de la CONAGUA (2013) y los resultados de una tesis (2013).

Un estudio realizado por la Universidad Michoacana a través de la Escuela de Ingeniería Química, por petición de la empresa papelera frente a la presión social de agricultores y pescadores, se basó en la NOM-CCA-015-ECOL/93, para

determinar que los valores promedio de los parámetros en las descargas industriales en el Río Grande cumplieran con la normatividad y no contribuían a su contaminación (Martínez, 1996). Sin embargo los resultados fueron cuestionados ya que se realizaron en época de lluvias cuando hay una mayor dilución de contaminantes (Figura 30).

Figura 30. Aspecto del Río Grande a su paso por la ciudad de Morelia.



Autor: Gersain Quiahua A. Morelia, 2013.

De acuerdo al primer estudio de Mathuriau, la descarga de la papelera al Río Grande contribuye a su degradación, pues se observó que en la época de lluvias (noviembre 2005) el río presenta una DQO de 105 mg/l y la DBO₅ es de 62 mg/l. En la época seca (mayo 2006) se presentó una DQO de 455 mg/l y la DBO₅ de 296 mg/l. Estas cifras de acuerdo a los criterios de la CONAGUA (2013a) el río se encuentra contaminado a muy contaminado (Ver Tabla 24 y 25).

Tabla 24. Indicador de la calidad del agua. Parámetro DQO.

Parámetro	Clasificación
$DQO \leq 10$	Excelente
$10 < DQO \leq 20$	Buena calidad
$20 < DQO \leq 40$	Aceptable
$40 < DQO \leq 200$	Contaminada
$DQO > 200$	Muy contaminada

Fuente: CONAGUA 2013a

Tabla 25. Indicador de la calidad del agua. Parámetro DBO₅.

Criterio	Clasificación
$DBO_5 \leq 3$	Excelente
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena calidad
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada
$DBO_5 > 120$	Muy contaminada

Fuente: CONAGUA 2013a

En el segundo estudio de Mathuriau, se usaron organismos macro-invertebrados como indicadores de la calidad del agua del río. Los resultados mostraron un cambio significativo en las comunidades de los macro-invertebrados a lo largo del río desde la presa de Cointzio hasta el lago de Cuitzeo, determinando que la descarga de la papelera contribuye sustancialmente en la desaparición de estos organismos. Las familias Perlidae, Nemouridae y Calamoceratidae fueron las más sensibles a la contaminación del agua, en cambio aparecieron otros organismos tolerantes como Dípteros de las familias Psychodidae, Syrphidae y Ephyridae y especies de Diatomeas, presentando en algunos puntos del río hasta 83% de abundancia relativa (Tabla 26).

Tabla 26. Calidad del agua del Río Grande en cuatro puntos.

Sitio	Calidad del agua aceptable	Contaminada	Muy contaminada
Empresa Papelera (CRISOBA)			x
Unión del Río Grande con el Río Chiquito		x	
Ciudad Industrial (CIMO)		x	
Atapaneo		x	

Fuente: Mathuriau *et al.*, 2010b.

Las conclusiones de los estudios de Mathuriau son que: el agua del Río Grande presenta buena calidad en la cuenca alta donde las actividades antropogénicas son mínimas en comparación con la cuenca media (ciudad de Morelia y empresa papelera) donde se alteran significativamente los parámetros de DBO₅ y DQO, hasta llegar a niveles de contaminada a muy contaminada, por lo tanto no es apta para su uso en la agricultura, pesca, ni abastecimiento humano (Mathuriau *et al.*, 2010a).

Los datos de la CONAGUA que ilustran sobre el estado del agua del Río Grande, corresponden al periodo 2011-2012 (Tabla 27).

Tabla 27. Datos de DBO₅ y DQO en Río Grande.

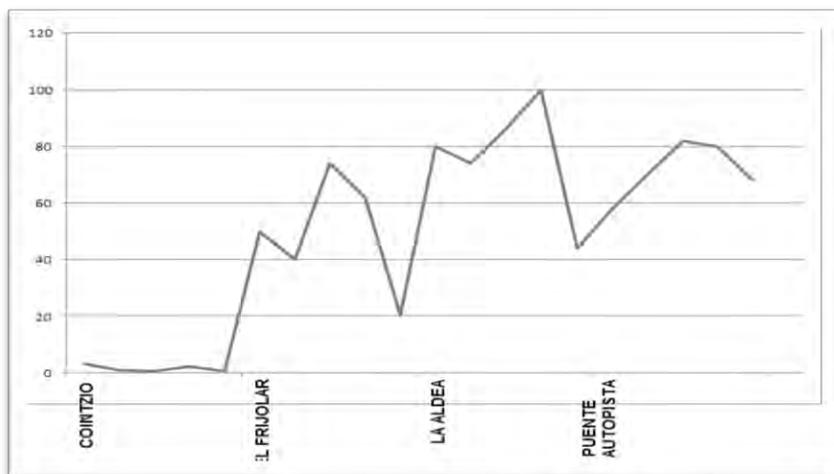
Sitio	DBO ₅	DQO	Calidad del agua
1.- Cointzio	1.4 mg/l	3.0 mg/l	Buena
2.- Puente el frijolar	50 mg/l	81 mg/l	Contaminada
3.- Puente la aldea	77 mg/l	127 mg/l	Fuertemente contaminada
4.- Autopista occidente	50 mg/l	72 mg/l	Contaminada

Fuente; CONAGUA 2013a.

Estos datos muestran que la DBO₅ presenta bajos niveles en la presa Cointzio, sin embargo después de la descarga de la papelera aumenta a 50 mg/l, y continua ascendiendo a su paso por Morelia lo que significa que se requiere cada

vez de más oxígeno para degradar la materia orgánica que contiene, pues la capacidad natural de autodepuración del río ha sido rebasada en este punto de su curso (Figura 31).

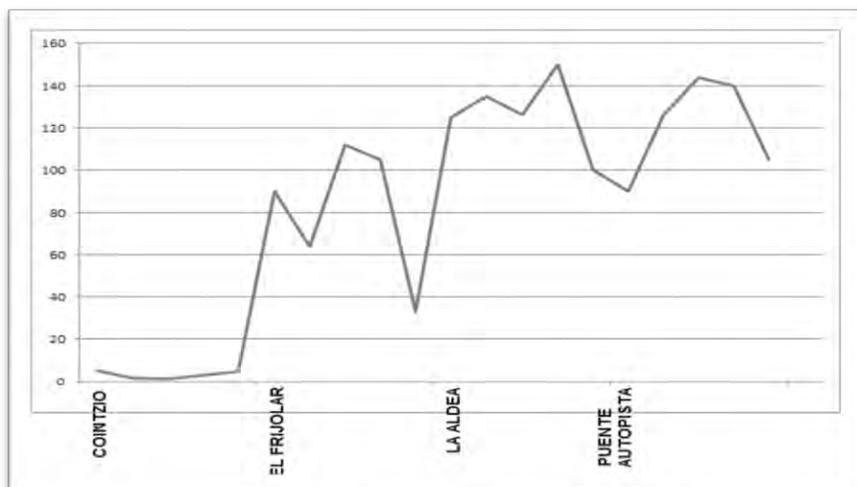
Figura 31. Comportamiento de DBO5 en el del Río Grande.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2013.

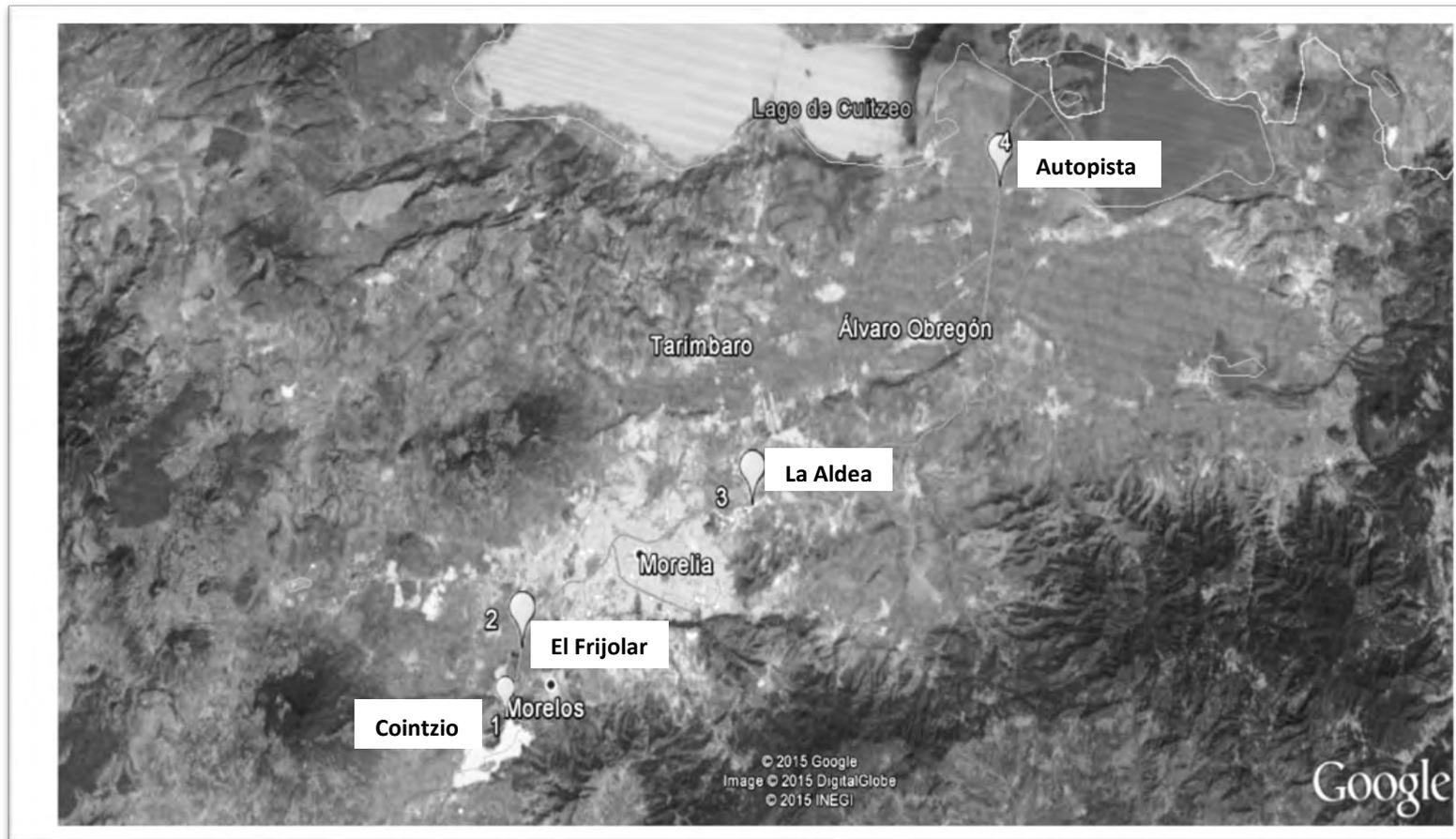
La DQO presenta un repunte después de la descarga de la papelería (El Frijolar), posteriormente los niveles continúan ascendiendo hasta llegar a los 100 mg/l en la zona del módulo III (Puente autopista) (Figura 32). Esto significa que las sustancias contaminantes se acumulan a lo largo del curso del río.

Figura 32. Comportamiento de DQO en el del Río Grande.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2013.

Figura 33. Puntos de monitoreo de la CONAGUA en el Rio Grande (CONAGUA 2013).



Fuente: Imagen tomada de Google Earth 2015 y con datos de localización proporcionados por CONAGUA

El estudio de Díaz (2013), evaluó la calidad del agua y de los sedimentos del Río Grande para determinar de metales pesados a través de analizar muestras tomadas en 12 puntos del río; desde la presa Cointzio hasta su desembocadura en el lago de Cuitzeo durante un 1 año, basándose en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-127-SSA1-1994 así como en parámetros de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

Los resultados muestran que los valores de la DQO es de 129.35 mg/l lo que indica que el agua del río está contaminada, de acuerdo a lo establecido por la CONAGUA para este tipo de parámetro. Las sales (SO_4 , CO_3 , HCO_3) estuvieron presentes en una alta proporción y respecto a los metales pesados se detectó la presencia de nueve elementos: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plata (Ag) y Arsénico (As), de los cuales el Fe y Zn presentaron las concentraciones más altas.

Las conclusiones a las que llega Díaz concuerdan con las anteriormente presentadas sobre el estado del Río Grande de Morelia, al demostrar que las descargas al río que aportan mayores contaminantes se encuentran antes de la ciudad y durante su paso por la ciudad. La principal descarga corresponde a la papelera, donde se nota una variación muy significativa de los parámetros físicos, químicos y de metales pesados tanto en el agua como en los sedimentos del cauce del Río Grande.

Todos los resultados de los estudios presentados si toman en cuenta el parámetro de la Demanda Química de Oxígeno que anteriormente se había dejado fuera para la empresa, con lo que se infiere que la descarga de aguas de la empresa no cumple con la normatividad correspondiente. Además la calidad del agua del Río Grande continúa degradándose a medida que desciende por la cuenca, principalmente a su paso por la ciudad de Morelia, incrementando constantemente los niveles de contaminación del río hasta su desembocadura en el lago de Cuitzeo.

4.1.2 Impactos en el lago de Cuitzeo

El lago de Cuitzeo es el receptor final de las aguas que transporta el Río Grande, sin embargo también recibe aguas residuales de otros 13 municipios de la cuenca, esto se debe a la condición endorreica de la cuenca (Tabla 28).

Tabla 28. Parámetros de la calidad del agua del lago de Cuitzeo.

Parámetro	Medida
Transparencia Secchi (m)	0.10
Conductividad(S/cm)	6,595
pH	10.4
Acidez al CO ₂ (mg/l)	0.0
Alcalinidad (mg/l)	750
Dureza total (mg/l)	202.1
Sólidos totales (mg/l)	4216
DQO (mg/l)	230.0

Fuente: Romero, 1998.

El Río Grande aporta al lago sustancias contaminantes provenientes de la industria papelera, de la ciudad de Morelia y de las actividades agrícolas en el DR-020 como Boro (B), Cadmio (Cd), Bicarbonatos, Grasas, Aceites, Sodio (Na) y coliformes fecales. Estas aguas afectan tanto al lago de Cuitzeo como a los organismos que alberga, ya sean especies animales o vegetales pues se reporta en tejidos de plantas elementos como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Aluminio (Al) (Pérez-Ponce de León *et al.*, 1996; Guzmán 1997).

Guzmán (1997) reporto que seis especies de peces y algunas aves del lago presentan parásitos trematodos como *Posthodiplostomum minimum* (MacCallum), *Clinostomum complanatum* (Rudolphi) y *Diplostomum* (Tylodelphys), característicos de aguas contaminadas como las de Cuitzeo. El autor relaciona la presencia de estos parásitos en el agua con los procesos de deforestación, azolvamiento y contaminación que ocurren en la cuenca. Los parásitos dañan órganos como el hígado, el cerebro y ojos de los peces y aves, incluso en ocasiones pueden transmitirse al humano (Martínez, 1991; Restrepo, 1995; Pérez-Ponce de León *et al.*, 1996).

A través del trabajo de campo (entrevistas) se documentaron otras problemáticas en el lago de Cuitzeo, como la desecación provocada intencionalmente para extraer agua del lago y regar cultivos o bien para dársela al ganado, también se acondicionan huertas familiares en las márgenes del lago, pequeños potreros, incluso se construyen viviendas en las márgenes del lago (Figura 34).

Figura 34. La falta de servicios básicos incrementan los problemas del lago.



Autor: Gersain Quiahua A. Lago de Cuitzeo 2013.

Los habitantes que conviven diariamente con el lago y dependen de él reconocen problemas que padece, como el azolvamiento o la contaminación. Un pescador de 85 años recuerda que hubo un tiempo en que su comunidad (Cheguayito) fue sitio de llegada de aves migratorias las cuales ahora difícilmente se pueden observar:

“Hace unos 70 o 60 años aquí llegaban patos cada año a tener sus crías, en época de primavera, ya después otra vez se iban y al año siguiente regresaban, hoy en día ya no vemos esos patos, no sabemos que les pasó”

(Pescador de 85 años, Chehuayito, Marzo de 2013).

En su testimonio el pescador no logra explicar a qué se debe tal situación, pero de acuerdo a la información presentada anteriormente sobre el estado de contaminación que guarda el lago, se atribuye este fenómeno a la calidad de las aguas residuales de la ciudad de Morelia que han estado llegando al lago desde hace 40 años.

El deterioro del lago por las aguas residuales que recibe exagera los procesos naturales que se presentan en la cuenca como las variaciones climáticas. Por ejemplo, en 2010 se reportó que se secaron más de 2,000 hectáreas del lago con lo que se afectó a las especies animales y vegetales del lago y a más de 1,500 pescadores que dependen de ellas para subsistir. En una nota periodística de 2010, Martínez ofrece datos de este proceso de desecación del lago:

“solo en el primer trimestre de este año la parte poniente del lago perdió tanta agua, que dos mil hectáreas quedaron descubiertas y se teme que antes de que concluya mayo se sequen otras seis mil”

(Martínez, 2010: 31).

La nota menciona que la evapotranspiración en el lago es un proceso muy acelerado, tan solo cerca del municipio de Cuitzeo 15 mil hectáreas del lago se encuentran invadidas por el Tule como *Scirpus validos* (C.C.Gmel) y el lirio *Eichhornia crassipe* (Mart). Estas plantas se caracterizan por absorber contaminantes, pero también por la excesiva evapotranspiración que producen, provocando disminución en los niveles de agua en el lago.

Los daños al ecosistema del lago generan a su vez impactos económicos negativos, sobre todo en la actividad pesquera, ya que los pescadores no pueden extraer producto de calidad aceptable para ser comercializado. En cambio optan por otras actividades para complementar sus ingresos económicos, incluso fuera de su lugar de origen generando un movimiento masivo a otras ciudades, estados o países en busca del bienestar económico que han perdido por la llegada de aguas residuales a lo que alguna vez fue su fuente de mantenimiento.

Existen otros factores que contribuyen a la degradación del lago de Cuitzeo, como la perforación de pozos para extraer agua, el crecimiento de la maleza acuática, la deforestación en toda la cuenca, la introducción de especies exóticas y las prácticas agrícolas, según se pudo observar en el trabajo de campo realizado en esa zona (Figura 35).

Figura 35. Entre tule y la necesidad de tierras, el lago pierde terreno.



Autor: Gersain Quiahua A. Lago de Cuitzeo 2013.

4.2 Impactos sociales del agua residual en la cuenca.

Los impactos sociales por el agua del Río Grande inician desde la descarga de la papelera, pues en esta zona se asientan comunidades rurales del municipio de Morelia como San Juanito Itzicuaró. Las entrevistas realizadas mostraron que en los últimos años la contaminación del río se agudizó.

“antes las aguas del Río Grande no eran tan negras, pero ha cambiado desde que la ciudad de Morelia empezó a crecer y desde que cerca de esta zona se puso una empresa que arroja muchas aguas negras, entonces ya el río desapareció, solo aguas negras vemos. Y las aguas se van cruzando por todo Morelia sin ningún control.”

(Campesino de San Juanito Itzicuaró, Noviembre 2012).

Los habitantes reportan que anteriormente usaban el agua del río para regar cultivos como forrajes, con los que alimentaban a sus animales (pollos, caballos, borregos), pero actualmente ya no pueden regar con esas aguas y tienen que comprar lo que antes producían (Figura 36).

Figura 36. Aspecto del Rio Grande en San Juanito Itzicuaru.



Autor: Gersain Quiahua A. San Juanito Itzicuaru, Morelia, 2013.

4.2.1 El caso de la comunidad de Uruétaro.

Esta localidad rural del municipio de Tarimbaro en la cuenca baja, cuenta con 2,519 habitantes (INEGI, 2010), algunos de ellos señalan que los canales de aguas negras que vienen de la ciudad de Morelia les provoca malestares físicos. A partir de ahora se hace referencia al Rio Grande como el canal Joconoles y el Rio Grande Rectificado, pues antes de la comunidad el Rio Grande es derivado en 2 canales (Joconoles y Rio Grande Rectificado), como se mostró en la Figura 27 del capítulo anterior.

En esta comunidad los daños se empezaron a experimentar a partir de hace 30 años, los vecinos entrevistados mencionan que la aparición de estas

aguas ha sido proporcional al crecimiento de la ciudad de Morelia. En la Figura 37 se observa el canal Joconoles que atraviesa la comunidad de Uruétaro repleto de lirios.

Anteriormente en el canal podíamos pescar, sacar pescados, se podía ver algunas ranas, culebritas, aves. En esa agua toda la comunidad hacía sus quehaceres, las mujeres lavaban sobre una piedra, todos nos bañábamos ahí, no teníamos agua potable ni regaderas, el río era un lugar importante para tomar agua para la cocina”

(Rafael B. Vecino de Uruétaro. Marzo 2013.).

Figura 37. Canal Joconoles en la comunidad de Uruétaro.



Autor: Gersain Quiahua A. Comunidad de Uruetaro, Tarimbaro 2012.

Lo anterior coincide con el argumento de Ávila, quien reporta que a partir de la apertura de la empresa papelera (CRISOBA, hoy Kimberly-Clark) en los años 70's, las aguas residuales al Rio Grande incrementaron y actualmente es uno de los flujos superficiales más contaminados de la cuenca por este tipo de vertidos, los cuales no reciben tratamiento adecuado y ocasionan impactos negativos en la salud de la población de Uruétaro y otras comunidades (Ávila, 2006).

De acuerdo con Rafael, un campesino de esta comunidad, en estos canales anteriormente se observaba especies de animales e incluso se practicaba la pesca. Fue un afluente tan importante, que la comunidad lo apropió para diversas prácticas sociales que ahora ya no realizan, pues se ha convertido en una fuente que deteriora su salud si entran en contacto con esa agua.

“hemos visto que quien tiene contacto directo con esta agua, le salen granitos, salpullidos, comezón que no se quiere quitar tan fácil. Hace poco caí por accidente al agua y dure tres meses con la herida que no quería sanar, después ya sano, pero no muy bien, quedó una cicatriz muy marcada”
(Rafael B. Vecino de Uruétaro. Marzo 2013).

Figura 38. Canal pasando la comunidad de Uruétaro entre calles y casas.



Autor: Gersain Quiahua A. Comunidad de Uruetaro, Tarimbaro 2012.

Al igual que Rafael, algunas madres de familia de la comunidad expresaron que enfrentan de los problemas de salud por vivir cerca del canal, quejándose principalmente de los olores desagradables que emanan de este. Amalia, aunque dice vivir lejos del río, es una de las que hizo hincapié en este problema:

“cuando hace mucho calor los olores del río es muy desagradable, huele muy mal, insoportable, más para las personas que viven en la orilla del canal. Yo vivo un poco lejos pero de todas maneras llega el olor”
(Amalia C. Vecina de Uruetaro. Marzo 2013)

Las madres de familia de Uruetaro consideran que los padecimientos como la diarrea o infecciones en la piel que presentan, se deben al agua que extraen de pozo por la cercanía que estos tienen con el canal de aguas negras. La familia de Martha utiliza el agua de pozo para sus animales domésticos y se reservan el agua potable para ellos.

“Pero algunos pozos de los que tómanos agua viene un poco sucia y algunas personas dicen que es porque el canal está cerca y el agua se filtra a nuestros pozos, pero nos dicen que tenemos que hervir el agua que tomamos. Esa agua tampoco se la podemos dar a los animales (ganado), pero tampoco podemos darle de la potable, porque sale caro y apenas alcanza para la familia”
(Martha S. Vecina de Uruetaro. Marzo 2013).

La problemática de esta localidad y otras más ubicadas en la cuenca baja, aumenta con la construcción de fraccionamientos en la cabecera municipal (Tarímbaro) a orillas del canal al que también van sus descargas (Figura 41). En este sentido, Rosalía mencionó lo siguiente:

“También los fraccionamientos (unidades habitacionales) echan sus aguas al canal y eso aumenta la contaminación, pero pues ninguna autoridad trata de solucionar, Acá cerca ya construyeron unos fraccionamientos y siguen construyendo y toda su basura y drenajes, pues al canal que pasa por acá cerca”
(Rosalía P, Vecina de Uruetaro. Marzo 2013)

Ante la problemática del canal Joconoles que pasa por su comunidad, los habitantes han tratado de organizarse sin mucho éxito para gestionar ante las instancias correspondientes ayuda y asesoramiento para combatir este problema. De acuerdo con Rafael, la gente ha realizado gestiones ante la Secretaría de Salubridad local (SSA) para que los ayude a proteger la salud de las personas de esta localidad, sin que hayan obtenido, hasta ahora, alguna respuesta efectiva.

“Hemos pedido a salubridad por medio del jefe de tenencia que nos den algo de medicina para limpiar ese canal y que quede limpio, pero hasta la fecha seguimos esperando”
(Rafael B. Vecino de Uruétaro. Marzo 2013).

Figura 39. Planta tratadora en fraccionamiento de Tarímbaro, fuera de servicio.



Autor: Gersain Quiahua A. Fraccionamiento de Tarimbaro 2012.

4.2.2 Módulo III del Distrito de Riego 020.

Después que el canal pasa por Uruetaro llega a irrigar los cultivos del módulo III a través 37.5 km de canales principales, 30.0 km de laterales, 77.2 km de sub laterales con el método de gravedad o rodamiento (entrevista con personal del módulo, Junio 2013),

La problemática más representativa del sector agrícola en la cuenca se dio con la transferencia del Distrito de Riego a los usuarios a mediados de los años 90. Esta transferencia buscaba mejorar la productividad, pero provocó conflictos sociales, económicos, políticos y ambientales, pues los usuarios no contaban, ni cuentan con recursos para mantener la infraestructura del DR. Además, no se les aseguró agua de calidad para los cultivos, por el contrario se

alentó el crecimiento de la ciudad de Morelia sin tomar en cuenta el saneamiento de las aguas de la industria y de la ciudad misma (Ávila, 2002).

Lo anterior ha obligado a que en el módulo III, solo cultiven forrajes pues las medidas sanitarias por parte de las instituciones como la Secretaria de Salud (SSA) prohíben regar con las aguas del Río Grande los cultivos de consumo directo (Figura 40) (Ávila, 2002).

Figura 40. Solo se les ha permitido cultivar forrajes.



Autor: Gersain Quiahua A. Módulo III. Álvaro Obregón 2013.

Testimonios recogidos de agricultores en las entrevistas muestran el estado de los campos agrícolas del Distrito y específicamente del módulo III. De acuerdo con María y Eloy una pareja de agricultores, hace unos 30 años, regaban sus parcelas con aguas de la presa Cointzio, pues estaban limpias incluso las usaban para consumo humano;

“Hace algunos años (30 años) el agua que llegaba era la de la presa Cointzio, charandoza le decíamos y con esa regábamos las parcelas, con esa agua había en los canales víboras, ranas, pájaros. El agua estaba limpia”

(Eloy S. de Álvaro Obregón. Comunicación personal. Marzo 2013).

Las aguas que actualmente se aprovechan en el módulo III presentan metales pesados como el Boro, Cadmio, sustancias como Bicarbonatos, Grasas y Aceites, Sodio y Coliformes Fecales, lo que provoca problemas al desarrollo de los cultivos y limita el establecimiento de otros más rentables (como las hortalizas) (Martínez, 1991).

“El agua que antes nos llegaba de la presa (Cointzio) para regar nuestras parcelas estaba buena, con esa agua podíamos tener hortalizas (jitomates, cebollas, lechuga) y no habia ningún problema, con esa agua para el riego nos bañábamos, hasta la tomábamos para la sed”

(María M. Vecina de Charo. Comunicación personal. Marzo 2013).

En la actualidad se riegan más de 8,000 hectáreas en el módulo III de trigo, maíz, sorgo, alfalfa y avena incluso algunas hortalizas, aunque estos cultivos representan riesgo para la salud debido a que se pueden comer crudas. De acuerdo con Romero (1998) las aguas que se utilizan en este módulo se han clasificado de tipo IV (contaminada).

Las hortalizas se siembran en cantidades pequeñas y es difícil obtener información de estos cultivos, pues al no permitirse en el módulo estos cultivos, la información se maneja de manera confidencial. De esta situación Samuel expresa lo siguiente:

“hoy el agua del módulo esta contaminadísima, viene con aceite, se quedan los surcos muy prietos por donde se riega, ya no podemos sembrar tomates como antes o alguna verdura para comer, pero nos las arreglamos para sembrar algunas verduras”

(Samuel A. Vecino de las Palmas, Indaparapeo. Marzo 2013).

Los agricultores igual que los habitantes de Uruétaro, coinciden en que la problemática surge aproximadamente hace 30 años. Arguyen, además que Morelia no hace nada para ayudar a un sector tan importante como el agrícola, por el contrario continuo creciendo y generando cada vez más aguas residuales sin tratamiento. Para Eloy, el agua se contamina desde Morelia:

“El agua ya viene sucia del canal de la ciudad de Morelia, toda el agua cochina viene en el canal. Esa agua no se le puede dar a los animales de la casa, porque se mueren”

(Eloy S. de Álvaro Obregón. Marzo 2013).

Figura 41. Canal en el módulo III con las aguas residuales de Morelia.



Autor: Gersain Quiahua A. Módulo III. Álvaro Obregón 2013.

La opinión de los agricultores, funcionarios públicos del municipio de Álvaro Obregón y personal administrativo del módulo III, es que la situación tendera a agravarse con el tiempo y de no hacer algo urgente la situación llegara a un punto de no retorno. Son conscientes de que sus actividades contribuyen también a la degradación de la calidad del agua que llega al lago y afectan actividades como la pesca.

De acuerdo con el Licenciado César G., una posible solución al agua contaminada es la construcción de más plantas de tratamiento de aguas y el uso de fertilizantes orgánicos:

“La posible solución a este problema del agua contaminada pasa forzosamente por la construcción de más plantas de tratamiento de esas aguas, cada municipio después de Morelia hacia esta parte baja de la cuenca debe tratar su agua. Además también nosotros como agricultores debemos transitar hacia el uso de bio-fertilizantes o abonos orgánicos en nuestras parcelas. De nada serviría que el agua nos llegara limpia y que nosotros le aplicáramos los químicos de los fertilizantes, sería una contradicción. La solución está en todos los involucrados”
(Lic. Cesar G. Auxiliar del mpio. Álvaro Obregón. Marzo 2013).

Figura 42. Campos en el módulo III regados con aguas residuales.



Autor: Gersain Quiahua A. Módulo III. Álvaro Obregón 2013.

4.2.3 Pescadores en el lago de Cuitzeo.

Como ya se mencionó, todos los escurrimientos superficiales de la cuenca llegan al lago de Cuitzeo siendo el Rio Grande rectificado y el canal que riega el módulo III los principales aportes. Sin embargo también recibe las aguas residuales de los municipios de Álvaro Obregón, Zinapécuaro, Santa Ana Maya, Huandacareo, Cuitzeo y Chuncandiro.

Una parte de la población de estos municipios ribereños se dedica a la actividad pesquera están agrupados en 31 organizaciones con más de 1,600 pescadores, reconocidas oficialmente por la Comisión de Pesca del Estado de Michoacán (COMPESCA, 2012).

El estado deteriorado del lago de Cuitzeo, afecta al sector pesquero que depende del cuerpo de agua. Algunos de las situaciones que más afectan son; la presencia de parásitos en los organismos del lago (peces y aves), incremento en las poblaciones del plancton, reducción de zooplancton y bentos lo que genera cambios en la biomasa disponible en el lago y por lo tanto una disminución de cantidad y calidad del alimento para peces.

Lo anterior provoca que las especies comerciales se vean reducido en su tasa de crecimiento y en la suspensión del desarrollo de los huevos generando problemas económicos, ya que estos cambios afectan la disponibilidad de los organismos con valor de mercado como los peces, anfibios, incluso vegetales (Gómez, 2002).

Para conocer más de la problemática del sector pesquero del lago de Cuitzeo, se aplicaron entrevistas en las comunidades de Chehuayo Grande y Chehuayito del municipio de Álvaro Obregón, debido a que se ubican cerca de la desembocadura del Río Grande.

Figura 43. Pescadores atrapados entre el Tule y la eutrofización del Lago.

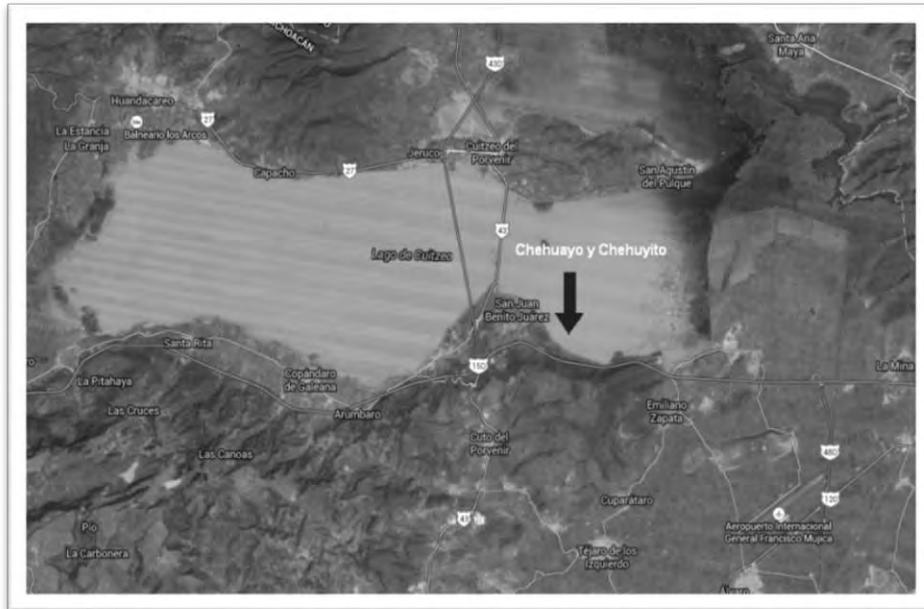


Autor: Gersain Quiahua A. Cheguayo, Álvaro Obregón. 2013.

La actividad pesquera de estas comunidades se basa en la extracción de Charales, Chehuas, Ranas toro y Carpas principalmente. A decir de los pescadores su sector también padece la crisis generada por la contaminación del agua del Río Grande como lo describe Don Chano:

“el lago siempre ha tenido ese color, desde que recuerdo hace 40 años 45 años cuando era niño, ese color, no ha cambiado mucho, lo que si recuerdo es que antes si se veían más patos, garzas y las pescas eran buenas, no había tanto lirio, definitivamente era mejor”
(Chano S. Pescador de Chehuayito. marzo 2013).

Figura 44. Ubicación Cheguayito, Álvaro Obregón



Fuente: Imágenes de Google Earth, 2013 y adaptada.

Los pescadores relacionan el estado del lago con la calidad de vida que tienen. Es claro para ellos que en época de secas la producción pesquera baja, por lo tanto recurren a otras fuentes de trabajo, mientras que en época de lluvias la pesca mejora y su situación económica también.

Figura 45. Pescando entre la contaminación, lirio y nulo apoyo institucional.



Autor: Gersain Quiahua A. Cheguayo, Álvaro Obregón. 2013.

Además del agua residual que llega al lago y del factor clima, el establecimiento de nuevas localidades en las márgenes del lago así como de la actividad agrícola contribuyen aún más a la degradación del estado del ecosistema lacustre.

“acá en Chehuayito, comunidad del municipio de Álvaro Obregón nos dedicamos a la pesca, pero cada vez estamos en peores condiciones por que ha ido disminuyendo últimamente la cantidad de lo que pescamos. Por ejemplo además de las carreteras que han construido alrededor y en medio del lago, hay que sumarle las poblaciones que nos hemos puesto cerca y para terminar el agua que llega esta cada vez más sucia, entonces lo que pescamos ya viene mal, porque también se mueren. Antes hasta patos pescábamos ahorita ya solo unas cuantas carpas y chehuas”
(“Conde”, Líder de pescadores en Chehuayito. Marzo 2013).

La ganadería y la agricultura son alternativas para los pescadores ante la disminución de su pesca, aprovechando épocas de seca en el lago para ganarle terreno y acondicionar un espacio lo más pronto posible antes de que el lago recupere su espejo para cultivar o meter algunos animales como pollos, vacas o borregos.

También recurren a otras prácticas para asegurar el sustento de ellos y de sus familias. De acuerdo con Miguel cada vez es más frecuente que los pescadores salgan hacia las ciudades o al extranjero (Estados Unidos) como alternativa de vida, abrir tiendas de abarrotes o la agricultura en las márgenes del lago.

“Por ahora ya ha bajado la actividad de pescar, muchos compañeros de la asociación acá en Chehuayo se han dedicado a la agricultura de lleno se van a trabajar a la ciudad o a Estado Unidos, y aquí ya casi no hay nada, algunos están poniendo sus tienditas la pesca ya casi no da”
(Miguel S. Pescador de Chehuayo. Marzo 2013).

Otros pescadores se mantienen en la actividad intentando rescatar lo que alguna vez fue una fuente abundante de ingresos para sus familias:

“andamos buscando apoyo para poner un embarcadero cerca de la comunidad y movernos mejor a la hora de pescar, porque el tule está muy crecido (100 metros lago adentro) y cuesta trabajo moverse (empujar la lancha), Lo que pedimos es

que nos den permiso los del Ayuntamiento, la CONAGUA y SCT para abrir un camino de la carretera a la orilla del lago (30 metros aproximadamente) y que nos presten maquinaria para remover la tierra y piedras, arrancar el tule. “
(“Conde”, Líder de pescadores en Chehuayito. Marzo 2013).

Figura 46. Abandono institucional al sector pesquero de la cuenca.



Autor: Gersain Quiahua A. Cheguayo, Álvaro Obregón. 2013.

4.3 Reflexión capitular

Los daños a los ecosistemas del Rio Grande y el Lago de Cuitzeo así como habitantes de las localidades (rurales) y sus actividades económico-productivas por el agua residual de Morelia son significativos. A pesar de que el municipio de Morelia cuenta con una Planta Tratadora de Aguas Residuales, la cual sana actualmente 1,100 l/s (35 millones de m³/año) y luego se vierten al Rio Grande para sanearlo, esto resulta insuficiente para lograr tal saneamiento del rio, el cual transporta alrededor de 100 millones de m³/año de agua contaminada.

Los impactos ambientales se perciben en todo el cauce del Rio Grande, pues ya se han rebasado los límites establecidos en la normatividad para parámetros de DBO₅ y la DQO llegando a presentar niveles de contaminado a muy contaminado, lo que provoca la desaparición de organismos que se encuentran adaptados al agua del río.

Los impactos sociales se reflejan en un distanciamiento de las personas del Rio Grande por el aspecto que presenta hoy en día, pues algunos sitios del rio eran punto reunión, recreación y esparcimiento para muchas personas. En la parte baja de la cuenca se reportan malestares físicos en los habitantes que entran en contacto con las aguas del rio, como sucede en la comunidad de Uruetaro.

A pesar de que no existen estudios que lo confirmen, los pobladores de Uruetaro atribuyen que el cauce del rio contamina los mantos acuíferos de los que se abastecen de agua para sus actividades domésticas y relacionan malestares físicos y enfermedades que padecen a la presencia de los canales de aguas negras en su comunidad.

La situación del río se agrava cuando cruza los fraccionamientos de Tarimbaro, los cuales se han construido en terrenos agrícolas y con esto trasladan otras problemáticas socio-ambientales de la ciudad al campo como; la generación de basura en grandes cantidades, la contaminación atmosférica por el uso de automóviles, mayor demanda de agua y por lo tanto de aguas residuales.

Posteriormente las aguas del río llegan al módulo III del Distrito de Riego 020 a través del canal Joconoles, donde genera problemas al sector agrícola, pues el agua se utiliza para irrigar cultivos los cuales se ven deteriorados y no se cotizan a buen precio, en comparación a productos que se riegan con agua limpia.

El destino final del agua del Río Grande es el lago de Cuitzeo a través del canal Joconoles y del llamado Río Grande rectificado, en este punto las aguas degradan el cuerpo de agua y afectan al ecosistema del lago de Cuitzeo y al sector pesquero. Las poblaciones de peces extraídas del lago con fines comerciales se encuentran reducidas en tamaño por las enfermedades parasitarias que padecen lo que a su vez genera que la actividad pesquera sea cada vez menos viable por los estragos en la salud y en la económica de las familias de los pescadores.

Este escenario en la cuenca es la consecuencia de un mal manejo del agua en el municipio de Morelia, pues en este centro urbano el líquido es visto como un recurso natural del que solo interesa generar ganancias económicas sin tomar en cuenta los impactos (negativos) que esto genere. Mientras los beneficios económicos por aprovechar el agua estén asegurados, los daños a los ecosistemas y a otros sectores sociales y productivos en la cuenca se ignoran y se ocultan bajo un discurso ambientalista por parte de las instituciones.

Lo anterior muestra un dominio de la ciudad sobre el campo en la cuenca a través de la generación descontrolada de aguas residuales sin sanear. Los testimonios presentados en este capítulo, muestran que de acuerdo al manejo del agua que se realiza en la ciudad de Morelia se dan los daños sociales y ambientales en la cuenca baja.

Esta situación socio-ambiental tiene su origen último en el elemento regulador del manejo del agua que corresponde al Estado y políticas públicas, al actuar de manera parcial y según los intereses de los sectores sociales y económicos dominantes en la ciudad de Morelia y en la cuenca, respecto al aprovechamiento del agua. Esto se analiza a continuación.

5. ESTADO Y POLÍTICAS PÚBLICAS DEL AGUA EN LA CUENCA.

En México y en la cuenca el manejo del recurso hídrico es una actividad regulada por el Estado a través de su aparato político-administrativo (instituciones, funcionarios, leyes, programas, etc.). Desde el Estado se formulan las políticas públicas, leyes, planes y programas que se aplican desde los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) para resolver los problemas, en este caso el de la contaminación del agua en la cuenca.

En este último capítulo se presenta un análisis del sub-sistema correspondiente al Estado y su aparato institucional, visto como el responsable de regular el manejo del agua a través de la legislación y las políticas del agua, ambientales y urbanas en la cuenca del lago de Cuitzeo.

El capítulo documenta las situaciones contradictorias y jerárquicas provocadas desde el Estado en la cuenca, que llevan a que sus políticas públicas favorezcan a ciertos sectores de la sociedad (industrial, inmobiliario), pues con ello se provoca la generación descontrolada de aguas residuales sin saneamiento y por consiguiente los impactos sociales y ambientales negativos en la cuenca baja (sociedades rurales y ecosistemas).

5.1 Un acercamiento a la noción del Estado.

Para Jaime Osorio (2004) el Estado es la entidad que condensa los intereses de todas las clases sociales que forman una sociedad. Además en esta conformación del Estado participan la mayoría de los sectores sociales, pero de estos solo algunos llegan a tener control y representatividad, lo que permite anteponer sus intereses en el aparato (Osorio, 2004).

La influencia de las clases dominantes en el Estado no es fácil de observar en realidad pues se mantiene oculta del resto de los sectores. Es así como el Estado actúa a favor de los sectores con más influencia, pero mostrándose neutral y mediador ante el resto de sectores.

El autor describe al Estado como una entidad que actúa en dos escenarios, uno visible y el otro no visible, al primero lo llama Estado visible y el segundo Estado no visible.

El Estado Visible se organiza de manera jerárquica con instituciones, normatividades y personal, también conocido como el aparato de Estado que se encarga de elaborar y mantener un discurso de igualdad y neutralidad de su actuación frente a la sociedad. El otro escenario es el Estado no visible, que corresponde a las decisiones y acciones tomadas como Estado pero partiendo exclusivamente de los intereses de las clases sociales dominantes en una sociedad.

El Estado visible mexicano se organiza en tres poderes: Ejecutivo, Legislativo y Judicial, en estos se encuentra la estructura de gobierno integrado por instituciones y marcos legales que le permiten realizar y ejecutar sus obligaciones. De esta estructura (marcos legales e instituciones ejecutoras) la atención se enfoca en los marcos del agua, ambientales y de urbanización los cuales tienen importancia en la problemática de estudio.

El lado no visible del Estado es precisamente el que se busca mostrar y explicar a través del análisis de la situación socio-ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo generada por el agua residual. Es decir, que la problemática social y ambiental en la cuenca es una expresión del actuar del Estado (Federal, Estatal y Municipal) al llevar a cabo los proyectos de las clases dominantes de la cuenca (grupos empresariales urbanos e industriales) haciendo a un lado planes y programas de beneficio colectivo como los ambientales y de conservación de recursos naturales en la cuenca.

5.2 Estado visible: Marco normativo del agua, ambiental y urbana.

a) Marco Normativo:

El Estado mexicano a través de su aparato político-administrativo (instituciones, funcionarios, leyes, programas, etc.), formula políticas públicas, planes y programas que se aplican desde los tres niveles de gobierno (federal,

estatal y municipal), en la cuenca respecto al manejo del agua, de los ecosistemas así como del crecimiento urbano

El Estado en México tiene como máximo documento legal para regular el acceso, uso y manejo del agua a la Constitución Política Mexicana, que establece en tres de sus artículos la importancia de la administración del recurso por el Estado Mexicano a través de sus instituciones:

- El Artículo 4 establece el derecho al agua.
- El Artículo 27 señala que los recursos hídricos son propiedad de la nación.
- El Artículo 115 establece a los municipios como responsables de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Para que los mandatos anteriores se lleven a cabo, el Estado también ha elaborado leyes de carácter federal con alcance nacional en materia de agua y ambiental:

- *Ley de Aguas Nacionales*, que regula la explotación, el uso, aprovechamiento, distribución, control, conservación y preservación de las aguas nacionales.
- *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*, que define cuotas de los derechos de uso y descargas de agua.
- *Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA)*: establece criterios para el aprovechamiento de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos.
- *Ley General de Salud*: esta Ley federal define aspectos sanitarios el agua de buena calidad para el consumo humano.

Para que se apliquen correctamente estas Leyes, se apoya en Normas Oficiales Mexicanas, que son los lineamientos técnicos donde se establecen los parámetros necesarios óptimos para el uso, manejo y tratamiento del agua (Jiménez *et al.*, 1998 y 1999).

- *NOM-014-SSA1-1993*, establece el procedimiento técnico para muestrear agua de uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento públicos y privados.

- *NOM- 179-SSA1-1998*, establece la frecuencia de monitoreo de la calidad del agua y determina parámetros para considerar si el agua es apta o no para las poblaciones.
- *NOM-127-SSA1-1994*, establece los límites permisibles de calidad y tratamiento del agua para su potabilización a través de características físicas y organolépticas, microbiológicas, constituyentes químicos y radiactivas.
- *NOM-001-SEMARNAT-1996*, establece límites máximos permitidos de contaminantes en las descargas de aguas residuales.
- *NOM-002-SEMARNAT-1996* fija límites máximos para descargas de aguas residuales a sistemas de alcantarillado urbano o municipal y para garantizar el tratamiento efectivo del agua residual.
- *NOM-003-SEMARNAT-1997* establece los límites máximos de contaminantes para aguas residuales tratadas que se re-usen en servicios públicos.

A nivel del estado de Michoacán también se dispone de una serie de legislaciones, programas y planes respecto al uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico que van desde la Constitución del Estado de Michoacán y la Ley del Agua y Gestión de Cuencas de Michoacán (LAGC) que establecen la política hídrica estatal y designan a los municipios como responsables del tratamiento de las aguas residuales.

El nivel federal (CONAGUA) aplica programas junto con el nivel estatal en la cuenca relacionado con el agua;

- Agua limpia: Se aplica en localidades con grado de marginación de alto y muy alto según la clasificación del INEGI otorgando equipos para procesos de saneamiento básico del agua.
- Agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas y rurales: Da apoyos para equipar pozos, introducir y ampliar redes de drenaje, alcantarillado, también en procesos de potabilización y manejo del agua en general.
- Rehabilitación, Modernización y Equipamiento de Distritos de Riego: Se enfoca a la rehabilitación y modernización de los componentes de la estructura de riego por gravedad en el distrito de riego.

- Ampliación de Distritos de Riego: Brinda apoyos económicos a los distritos de riego para adquirir terrenos aledaños para ampliar su superficie de cultivo.
- Incentivos para la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Estos programas se proponen mejorar la calidad del agua y de los ecosistemas a través del saneamiento de las aguas residuales y de un buen manejo general del recurso hídrico a través de estímulos económicos a las instituciones encargadas de administrar el agua a nivel municipal.

Lo anterior se refuerza en el estado de Michoacán con la Ley Ambiental y de Protección del Patrimonio Natural (LAPPN), la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEEPA), que indican que el estado y los ayuntamientos son responsables de la prevención y control de la contaminación del agua a través del uso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (SEMARNAT, 2015).

Otra institución que tiene relevancia en el manejo del agua y de la protección de los recursos naturales en México y en la cuenca es la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual es una institución de carácter normativo, pero en ocasiones articula actividades y acciones con la CONAGUA, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) o el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), para aplicar programas para el mantenimiento de los servicios ambientales para las sociedades derivados del agua, a través de estímulos económicos para la conservación de los bosques.

En cuanto a programas y planes de urbanización en la cuenca, estos se promueven desde la Secretaría Estatal de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) y los municipios en su área de Desarrollo Urbano. Además existen a nivel estatal y regional como; Programa de Desarrollo Urbano de Morelia, el Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Michoacán, el Programa de Ordenamiento de la Zona Metropolitana de Morelia 2009-2030. Tales proyectos conllevan el uso y manejo del agua ya sea en la construcción o bien como un

servicio del que se dotan los nuevos fraccionamientos y zonas habitacionales, además de requerir de nuevos suelos o terrenos cada vez más para llevarse a cabo (SUMA, 2015).

A nivel municipal la Ley Orgánica Municipal en el Artículo 32 faculta a los ayuntamientos a brindar servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.

b) Instituciones:

La institución encargada de ejecutar la política hídrica en México y la cuenca, es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través de su delegación estatal en la cuenca. Esta institución depende de la SEMARNAT y su función es administrar y preservar las aguas nacionales a través de una gestión integrada del recurso hídrico así como sus bienes públicos (CONAGUA, 2013).

Los quehaceres de la CONAGUA están delineados en Ley de Aguas Nacionales (2014), donde se le da la categoría de órgano superior de la Federación en materia de gestión de los recursos hídricos en el país.

La herramienta con la que opera la CONAGUA es el Programa Nacional Hídrico (PNH) que se elabora a través del plan sectorial correspondiente (ambiental) el cual se deriva del Plan Nacional de Desarrollo (PND). El PND es un documento guía en esta materia que se elabora por cada administración federal de acuerdo a su plan de trabajo para el sexenio correspondiente.

En el PNH correspondiente al sexenio 2007-2012 se plantearon siete objetivos en materia hídrica, que tienen relación con la cuenca del lago de Cuitzeo (Tabla 29).

Tabla 29. Objetivos del PNH 2007-2012.

-
1. Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola e incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable.
 2. Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
 3. Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico.
 4. Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.
 5. Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos.
 6. Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.
 7. Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la ley de aguas nacionales en materia administrativa.
-

Lo anterior se aplica desde el nivel Federal y del municipio de Morelia a través del Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS) el cual se encarga de lo relacionado con el agua, en cuanto al servicio público de agua potable, alcantarillado y saneamiento en los sectores urbanos, rurales e industriales de Morelia. Así como todos los demás ayuntamientos de los municipios en la cuenca, actuando en el tema de acuerdo a sus capacidades físicas, técnicas y sobre todo presupuestarias.

Los ayuntamientos como Álvaro Obregón y Tarímbaro, en la medida de sus posibilidades presupuestarias realizan acciones y obras a través de las comisiones de Ecología y Medio Ambiente, Urbanismo, Agricultura y Salud, de acuerdo lo establece la Ley Orgánica Municipal de Michoacán. La mayoría de las veces el presupuesto asignado para llevar a cabo sus tareas resulta insuficiente, además de la escasa capacitación de sus servidores públicos (regidores, síndicos) para operar sus comisiones de manera efectiva.

También están presentes en la cuenca, otros actores involucrados en el manejo del agua, que no necesariamente pertenecen al Estado visible pero se origina desde este. Son las Comisiones y Organizaciones de cuenca que se originan con las modificaciones en el año 2004 a la Ley Nacional del Agua y setán integran por todos los sectores que aprovechan el agua en la cuenca (industrial, académico, agropecuario, social, etc.).

Este tipo de actuación es una estrategia de la CONAGUA para incluir a los sectores sociales en la gestión del agua; se supone que no debe estar subordinada a ninguna institución y la forma de actuar debe ser autónoma, pero en ocasiones se dedica a legitimar y respaldar las políticas y acciones propuestas por la CONAGUA.

Con lo presentado hasta el momento, se tiene un panorama más o menos completo de como el Estado a través de sus instituciones y políticas públicas tiene una amplia presencia como regulador del manejo que hacen las sociedades del recurso hídrico en la cuenca del lago de Cuitzeo. Sin embargo, más adelante se muestra el rol del Estado no visible, que imposibilita la operación adecuada de las reglas e instituciones y canaliza su actuación a favor de los proyectos de los sectores dominantes de la cuenca.

Tabla 30. Instituciones y leyes en México y en la cuenca.

Nivel de gobierno	Institución	Documentos	Planes y programas
Federal	SEMARNAT CONAGUA PROFEPA CONAFOR	Constitución Mexicana	Plan nacional de desarrollo el PND 2007-2012
			Programa sectorial de medio ambiente y recursos naturales 2007-2012
		Leyes y normas	Plan Hídrico Nacional
			Programa de monitoreo de la calidad del agua. Inspecciones ambientales PROARBOL
Estatal	DELEGACION ESTATAL (SEMARNAT, CONAGUA, PROFEPA, CONAFOR)	Constitución estatal de Michoacán	Plan estatal de desarrollo 2008-2012.
			Programa hídrico estatal visión 2030.
		Leyes, planes y programas estatales	Ordenamiento ecológico territorial.
			Plan de desarrollo urbano, Plan director de distritos de riego.
Municipal	OOAPAS	Ley orgánica municipal	Agua potable, alcantarillado y saneamiento de aguas residuales
	SUMA		Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Michoacán.
			Programa de Ordenamiento de la Zona Metropolitana de Morelia 2009-2030

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Estado no visible: Problemática socio ambiental.

A pesar de una importante presencia de instituciones, programas y planes en materia hídrica, ambiental y urbana en la cuenca del lago de Cuitzeo en todos los niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), los daños sociales y ambientales generados por las aguas residuales de la ciudad de Morelia se acrecientan cada vez más.

Mientras el Estado visible presenta un discurso de protección y uso racional respecto al agua y otros recursos naturales en la cuenca, su lado No Visible no lleva a la realidad ese discurso por varias razones, entre otras; por la legislación que en ocasiones presenta vacíos en cuanto a parámetros estrictos para evaluar la calidad del agua, ambigüedad en términos, conceptos y funciones para la protección y manejo de ecosistemas, cambios repentinos y discrecionales de decretos de protección ambiental así como cambios en planes y programas de urbanización de la ciudad y de la cuenca.

Lo anterior se debe a que en el Estado existe la tendencia de actuar a favor de las clases dominantes en la cuenca (sector industrial e inmobiliario), lo que impide que actúe de manera contundente ante la problemática y solo se limite a simular el saneamiento de las aguas contaminadas, principalmente del Río Grande.

La situación socio-ambiental en la cuenca, es agudizada desde que el Estado ha permitido de manera sistemática la actuación ilegal de la industria papelera desde su instalación en la cuenca hace 40 años. El Estado ha permitido que la industria opere con una legislación que no contempla parámetros estrictos para controlar sus descargas, además de no actuar de manera contundente ante la apropiación irregular que hizo la empresa del agua del manantial de la Mintzita, a pesar de ser una fuente de agua declarada como reserva de agua para la creciente ciudad de Morelia.

Esta postura del Estado desde todos sus niveles en la cuenca, contribuyó a que durante muchos años la industria papelera vertiera sin control estricto sus descargas al Río Grande Morelia, lo que comenzó a afectar a la zona baja de la

cuenca, principalmente a los agricultores del módulo III del Distrito de Riego 020 (DR-020) pues tales aguas residuales contienen metales pesados y tóxicos orgánicos y con ellas se riegan parcelas de cultivos.

Las protestas de los agricultores de Álvaro Obregón y Tarímbaro en 1990 provocaron que el Estado (CONAGUA delegación estatal, instituciones del estado de Michoacán y del municipio de Morelia) clausura las actividades de la industria papelera CEPAMISA (hoy Kimberly Clark de México-planta Morelia) y exigieron la construcción de una planta de tratamiento para reducir los niveles de contaminación del río que ya empezaba a afectar sus actividades agrícolas del Distrito de Riego (DR-020), sobre todo en el módulo III incluyendo al lago de Cuitzeo.

El gobierno respondió clausurando las actividades de la empresa papelera y se comprometió a realizar obras de saneamiento y un estudio de la calidad del agua del Río Grande. A los pocos días la empresa volvió a sus actividades de producción de papel y los compromisos hechos por el Estado quedaron pendientes, ocasionando malestar entre los campesinos (Ávila, 2006).

Posteriormente en 1994 surgen nuevas protestas por parte de los agricultores por la obstrucción de drenes y canales del DR-020 debido a la construcción de obras carreteras en esa zona y cerca del lago, lo que estaba provocando inundaciones. Otra vez el gobierno estatal y municipal escucho las demandas de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, sin embargo lo único que se logro fue la limpieza de drenes y canales, pues el gobierno estatal argumentó que no contaba con presupuesto para la construcción de la planta (Ávila, 2006).

Ante la petición de construcción de la planta tratadora hecha por agricultores, pescadores y sociedad en general desde los años 1990 al Estado, este último se mostró en todo momento indiferente. Sin embargo en 2008 se construyó una planta de tratamiento por parte del Estado de Michoacán en coordinación con el municipio de Morelia y apoyados por el gobierno Federal, al mismo tiempo en que se inició la construcción de uno de los complejos inmobiliarios privados más importantes y modernos de la ciudad de Morelia,

impulsado por uno de los grupos de mayor poder económico y político en la ciudad y en la cuenca.

De manera no oficial los promotores del proyecto Tres Marías, perteneciente a la Organización Ramírez, señalaban que el agua de la planta de tratamiento serviría en un futuro para regar los campos de golf de este complejo a través de la compra del agua saneada en bloques. Hasta la fecha no hay evidencia oficial de que eso se realizó, pero de acuerdo a comentarios de un exfuncionario estatal, la planta de tratamiento se diseñó para tratar agua de calidad superior a la especificada en la norma (Ávila, 2006).

Actualmente el Estado continúa con una actuación disimuladora ante la problemática, al grado de que en 2015 la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) le otorgo a la industria papelera el Certificado de Industria Limpia (PROFEPA, 2015). Por otro lado La CONAGUA aplica programas de saneamiento del agua en la cuenca, pero no logra completamente sus objetivos propuestos, por ejemplo el primer objetivo del PNH 2007-2012 que plantea dotar de agua (en cantidad y calidad) a las actividades agrícolas para el mejoramiento del sector y el segundo objetivo que refiere al manejo integrado de cuencas y acuíferos en la cuenca de Cuitzeo no se ha cumplido ningún de estos objetivos, pues el agua sigue llegando de mala calidad al módulo III de Álvaro Obregón, todo lo anterior aunado a un proceso creciente de deforestación en la parte alta de la cuenca, como resultado de la carencia de un programa de manejo integral de la cuenca.

Lo anterior contribuye a que la problemática socio-ambiental en la cuenca se agudice. A ello debe sumarse que existen intereses del grupo político que administra el aparato de Estado, que ve las problemáticas socio-ambientales un botín político-electoral en su beneficio. Por ejemplo Peña ha documentado que los servidores públicos en la cuenca prometen el saneamiento del Rio Grande, de las aguas residuales o del lago de Cuitzeo, sin embargo el propósito de este acercamiento a la población es la búsqueda de votos para épocas electorales, es decir que aprovechan el de deterioro

ambiental que se padece en la cuenca y problemas en los sectores agrícola y pesquero para fines políticos (Peña 2004).

Otro ejemplo de la actuación deficiente de la CONAGUA, es que se dedica a dar una imagen de institución comprometida en la solución de la problemática con la construcción de plantas de tratamiento en la cuenca baja, sin embargo la mayoría de estas plantas, por no decir todas, se encuentran sin operar (Tabla 31).

Tabla 31. Otras plantas de tratamiento en la cuenca.

Municipio	Capacidad de tratamiento.	Situación operativa
Charo	10 l/s	Sin operar debido a constantes modificaciones al proyecto original.
Copándaro	10 l/s	Sin operar por falta de recursos económicos del gobierno del estado y municipio.
Sta. Ana Maya	15 l/s	Sin operar por problemas financieros en el ayuntamiento.
Zinapécuaro	35 l/s	Sin operar debido a falta de equipo.
Huandacareo	20 l/s	Sin operar por problemas legales del terreno en donde se estaba construyendo.
Cuitzeo	25 l/s	Sin operar debido a la falta de mantenimiento en los clarificadores, celdas de lodos y purificación.

Fuente; Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo, 2014.

La relación entre el Estado y los grupos dominantes en la cuenca provoca la problemática y dificulta su solución, pues la aplicación de la legislación en materia de saneamiento de aguas residuales afectaría sin duda a un sector tan importante e influyente como la industria papelera.

Si se aplicara la normatividad para mejorar el tratamiento de aguas residuales de la industria en la cuenca (*NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997*) implicaría un desembolso de

dinero para construir y operar una planta de tratamiento con las características técnicas necesarias para el saneamiento de sus aguas, gasto económico que difícilmente la empresa realizaría, si puede negociar ante el Estado para que no aplique la normatividad o lo haga de manera parcial.

Es necesario recordar que la problemática socio-ambiental en la cuenca se agudizó por la presencia de la empresa papelera, la cual ha operado al margen de la ley y de manera irregular desde su establecimiento apropiándose además del agua del Manantial de la Mintzita (sitio RAMSAR de importancia ecológica e interés internacional). Actualmente cuenta una concesión por parte de la CONAGUA para el aprovechamiento del agua del manantial y también con permisos para descargar sus aguas residuales al Río Grande (Ávila, 2006).

Actualmente las descargas de la empresa papelera no han sido controladas por ningún nivel de gobierno. Como se mostró en el capítulo anterior estas aguas continúan impactando la zona baja de la cuenca, principalmente a las actividades agrícolas y pesqueras así como al ecosistema lacustre del lago de Cuitzeo.

5.4 Políticas de urbanización versus políticas del agua y ambientales.

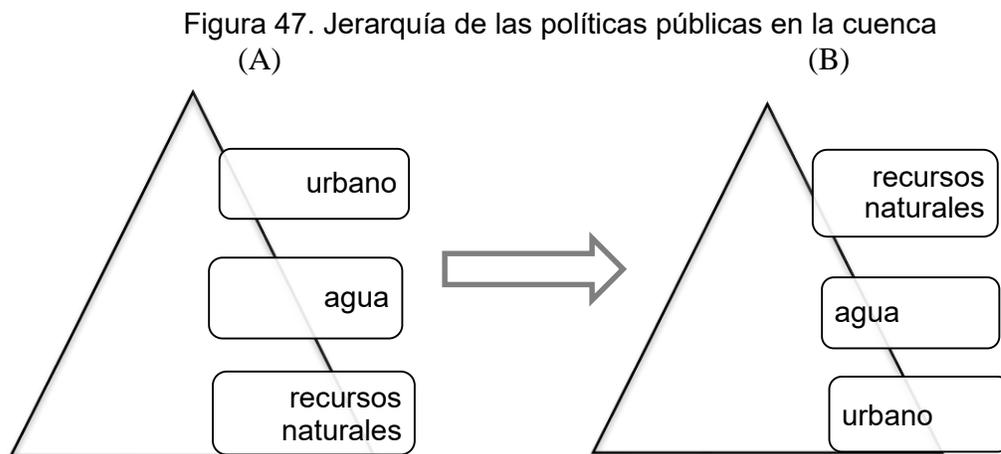
Además del uso irracional del recurso hídrico en la cuenca, tanto por la industria papelera como del deficiente saneamiento del Río Grande de Morelia, lo cual es permitido por el Estado en los últimos años ha aparecido en la cuenca intereses económicos para aprovechar y explotar la tierra (ejidal) en la zona rural de la cuenca baja, a través del impulso de la urbanización de esa zona.

Esto se ha logrado debido a que en la etapa actual el Estado se encuentra ligado al capital económico (Estado capitalista), el cual Osorio (2004) caracteriza por su capacidad para imponer proyectos (económicos) de los grupos dominantes al resto de la sociedad, todo ello bajo una ruptura entre las cuestiones políticas y económicas.

En la cuenca del lago de Cuitzeo el Estado trabaja en base a una agenda elaborada por grupos dominantes de acuerdo a sus intereses económicos e

incluso políticos. Por ello se anteponen proyectos y planes correspondientes a la urbanización e industrialización por encima de áreas y ámbitos de mayor prioridad como el uso del agua o la protección de los recursos naturales.

La Figura 47 muestra cómo el estado en la cuenca ha definido su actuación, en lugar de que los procesos de urbanización se planeen de acuerdo a la disponibilidad de recursos naturales que garantice el uso racional de estos para el óptimo desarrollo de la sociedad (A), se ha optado por que la urbanización sea una prioridad y los recursos naturales queden a su disposición, especialmente el agua (B).



Fuente: Elaboración propia.

Un ejemplo de la agenda de trabajo del Estado es la imposición que se ha logrado de proyectos lucrativos como el Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Michoacán y el Programa de Ordenamiento de la Zona Metropolitana de Morelia 2009-2030 en la cuenca, que paso por encima de planes y programas de manejo ambiental y de protección de recursos naturales como el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Lago de Cuitzeo el cual se elaboró por el mismo estado de Michoacán a través de la Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) en coordinación con instituciones académicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-Centro de

Investigaciones en Geografía Ambiental y el Centro de Investigaciones en Ecosistemas).

Estos proyectos de urbanización impuestos contemplan la expansión de la ciudad de Morelia hacia la cuenca baja y se ha comenzado con un incipiente proceso de conurbación entre el municipio de Morelia y el de Tarímbaro con el cual se busca alcanzar a los municipios de Álvaro Obregón, Charo, Indaparapeo y Zinapécuaro, para así concretar una área metropolitana (Cabrera, 2012).

La urbanización en la cuenca se da en base a la especulación inmobiliaria sobre ejidos aledaños a la ciudad, principalmente en los municipios de Tarímbaro y Álvaro Obregón y Charo donde se comercializan las tierras agrícolas a precios bajos (Ávila, 2004).

La expansión de la ciudad de Morelia, tuvo un impulsó en 1994 a través de la expropiación de tierras ejidales (Tenencia Morelos, Santiaguito, Jesús del Monte y Santa María, entre otras) que fueron integradas al área disponible a urbanizar de la ciudad. A partir de entonces la ciudad ha estado en una dinámica de incorporación de suelo ecológico y agrícola a su área urbana a través de actualizaciones a sus programas urbanos, muchas veces de manera irregular. Hoy 50% de la superficie urbana de Morelia tiene su origen el régimen de propiedad ejidal (Ávila, 2001).

Se observa también que la postura del Estado ante estos procesos ha sido a favor de los grupos interesados en la expansión urbana sobre la cuenca baja (especuladores inmobiliarios) apoyando los proyectos con las modificaciones correspondientes al Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del lago de Cuitzeo.

Un caso emblemático de este tipo de actuación del Estado es lo que sucedió con el Área Natural Protegida de la Loma de Santa María, donde a través de la autorización de cambios de uso de suelo en los polígonos de protección se dio paso al crecimiento urbano (fraccionamientos, centros comerciales, complejos habitacionales privados como Tres Marías y Altozano) (Ávila, 2004, IMDUM, 2010).

Las modificaciones a los Programas y Decretos logran cambiar el uso de suelo de tierras agrícolas junto con sus aguas para que entren al mercado y así estimular así el crecimiento urbano-industrial en la cuenca. Esto genera mayor presión sobre el recurso hídrico, a pesar de que ya se encuentra estrés el acuífero se verá sometido a una sobreexplotación y habrá en general un aumento en la contaminación del agua provocado por los procesos urbanos-industriales (DOF, 2010; CONAGUA, 2010).

De esta forma quedan al descubierto las relaciones entre el Estado y grupos económicos dominantes en la cuenca relacionadas a los procesos de urbanización. Estos procesos no se basan en la legalidad sino que modifican y utilizan las vías legales para llevar a cabo sus proyectos. En este sentido el Estado (nivel estatal y municipal) se encarga de desregular la tenencia de la tierra rural y agrícola para dar paso al uso urbano, dejando de lado aspectos y áreas prioritarias como la conservación de interés ecológico y ambiental. Esto deja claro el dominio de la ciudad sobre el campo en la cuenca.

En esta relación los municipios de Tarímbaro y Álvaro Obregón son los más afectados, tanto por los nuevos fraccionamientos en su territorio que recibe junto con habitantes y problemáticas como; la generación de basura, generación de aguas residuales, demanda de servicios públicos (luz, aguas, limpia pública, vías de comunicación).

A todo lo anterior que sucede en la cuenca, es necesario añadir que la relación entre el Estado y los grupos dominantes responden a relaciones y procesos de alcance regional, nacional e incluso global, es decir que los proyectos en la cuenca (urbanos e industriales) se integran en proyectos de mayor envergadura, en los que la cuenca es un eslabón más en el tránsito de materias primas y mercancías provenientes de Asia a las zonas industriales de Estados Unidos (Cabrera, 2012).

La Figura 48 muestra las proyecciones de la metropolización en la cuenca hechas por la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA). Después de la modificación al Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca, con lo cual se incrementó la superficie para asentamientos humanos

de 27 a 68 mil hectáreas (60%), afectando a sectores como: el agropecuario que disminuyó 31%, el agrícola de riego 28% y el uso forestal 18%.

Figura 48. Proyecto de metropolización de la cuenca.



Fuente: SUMA, 2010.

Queda claro que la prioridad del Estado es contribuir a que los inversionistas cumplan sus objetivos económicos privados pasando por encima de la conservación de los ecosistemas, áreas naturales, uso sostenible de los recursos naturales, especialmente del agua (Cabrera, 2012).

5.5 Reflexión capitular.

El Estado mexicano se encarga de regular el manejo del agua y el crecimiento urbano a través de su plataforma institucional en la cuenca del lago de Cuitzeo. El Estado se integra de instituciones, políticas públicas, programas y planes que se aplican desde el nivel federal, estatal y municipal en la cuenca, con la finalidad de regular los procesos de aprovechamiento de recursos naturales, en este caso del agua.

Sin embargo existe una dimensión del Estado que no es visible, la cual contradice su objetivo como un ente encargado de velar por el bien de todos los sectores de una sociedad, ya que actúa a favor de intereses de los grupos dominantes. En la cuenca del lago de Cuitzeo, estos grupos buscan la reproducción de sus inversiones económicas en las actividades industriales y de urbanización a costa del uso irracional del agua y otros recursos naturales (suelo, bosques), sin tomar en consideración las afectaciones que esto genera en otros sectores, sobre todo ambiental y rural.

Los mayores daños socio-ambientales se generan en la cuenca baja y son ocasionados por las aguas residuales que generan la ciudad de Morelia y su actividad industrial y que se conducen a lo largo del Río Grande hasta llegar al lago de Cuitzeo. Esta situación es permitida por el Estado al no obligar a estos actores (municipio, sector inmobiliario e industrias) al saneamiento completo de sus aguas residuales, ni lleva a cabo un programa integral de manejo de agua en la cuenca.

La relación entre el Estado y los grupos dominantes en la cuenca, es lo que dificulta la solución de la problemática socio-ambiental. Si se aplicara la legislación y normatividad relacionada al tratamiento de aguas residuales por la industria papelera (antes de que sean vertidas al Río Grande), implicaría un desembolso importante de dinero para la eliminación de los contaminantes químicos como metales pesados en sus aguas. Un gasto económico que difícilmente realizará si puede gestionar o corromper para que no se aplique la normatividad o bien colocando en el Estado a personas que representen sus intereses.

En conclusión, el papel del Estado como regulador del uso y manejo del agua es deficiente y contradictorio: por un lado presenta un discurso ambiental y modernizador (urbanización e industrialización) de la cuenca; y por otro lado causa perjuicios a sectores sociales y productivos del ámbito rural y a los ecosistemas al no brindar los recursos suficientes ni aplicar la ley a quien la infringe (quien contamina).

Ese rol del Estado actualmente en la cuenca es básicamente defensor de los intereses de los grupos económicos dominantes en la cuenca (sectores inmobiliarios e industriales), los cuales buscan que las políticas e inversiones del Estado operen en beneficio de sus proyectos privados (urbanización e industrialización), sin importar que se violente la legislación relacionada a la protección del agua y medio ambiente en la cuenca.

6. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES GENERALES

Con lo presentado en los capítulos anteriores, se concluye que el sistema complejo estudiado presenta una condición de desequilibrio, el cual se manifiesta en el deterioro social y ambiental de la cuenca. Esto es el resultado de un deficiente manejo del recurso hídrico en el principal centro urbano-industrial de la cuenca: Morelia.

De acuerdo con los testimonios de personas entrevistadas y la información recabada en la investigación bibliográfica, se puede decir que hace 40 años la situación socio-ambiental de la cuenca era estable. Recursos naturales como el agua eran suficientes en calidad y cantidad para satisfacer las necesidades de las sociedades (urbanas y rurales) y las actividades económicas (agricultura, pesca y una incipiente actividad industrial). Con el crecimiento demográfico y la localización de industrias altamente contaminantes y consumidoras de agua, comenzó a haber cambios en el sistema complejo, por las grandes cantidades de aguas residuales generadas en el centro urbano-industrial.

Una de las perturbaciones más importantes del sistema fue el establecimiento de la empresa papelera en 1969, a un lado del río Grande y manantial La Mintzita. El Estado (a través de sus instituciones federales) no aplicó las medidas necesarias para controlar las descargas de sus aguas residuales que depositaba al Río Grande.

El Río Grande fue el primer afectado ambiental por estas descargas y se convirtió en el vector que transportaría las aguas residuales hasta la cuenca baja y el lago de Cuitzeo. La condición contaminada del Río Grande afectó el ambiente rural de la cuenca, desde la población que habitaba en sus inmediaciones (como la comunidad de Uruétaro, entre otras) hasta los agricultores del Distrito de Riego 020 y pescadores del lago de Cuitzeo.

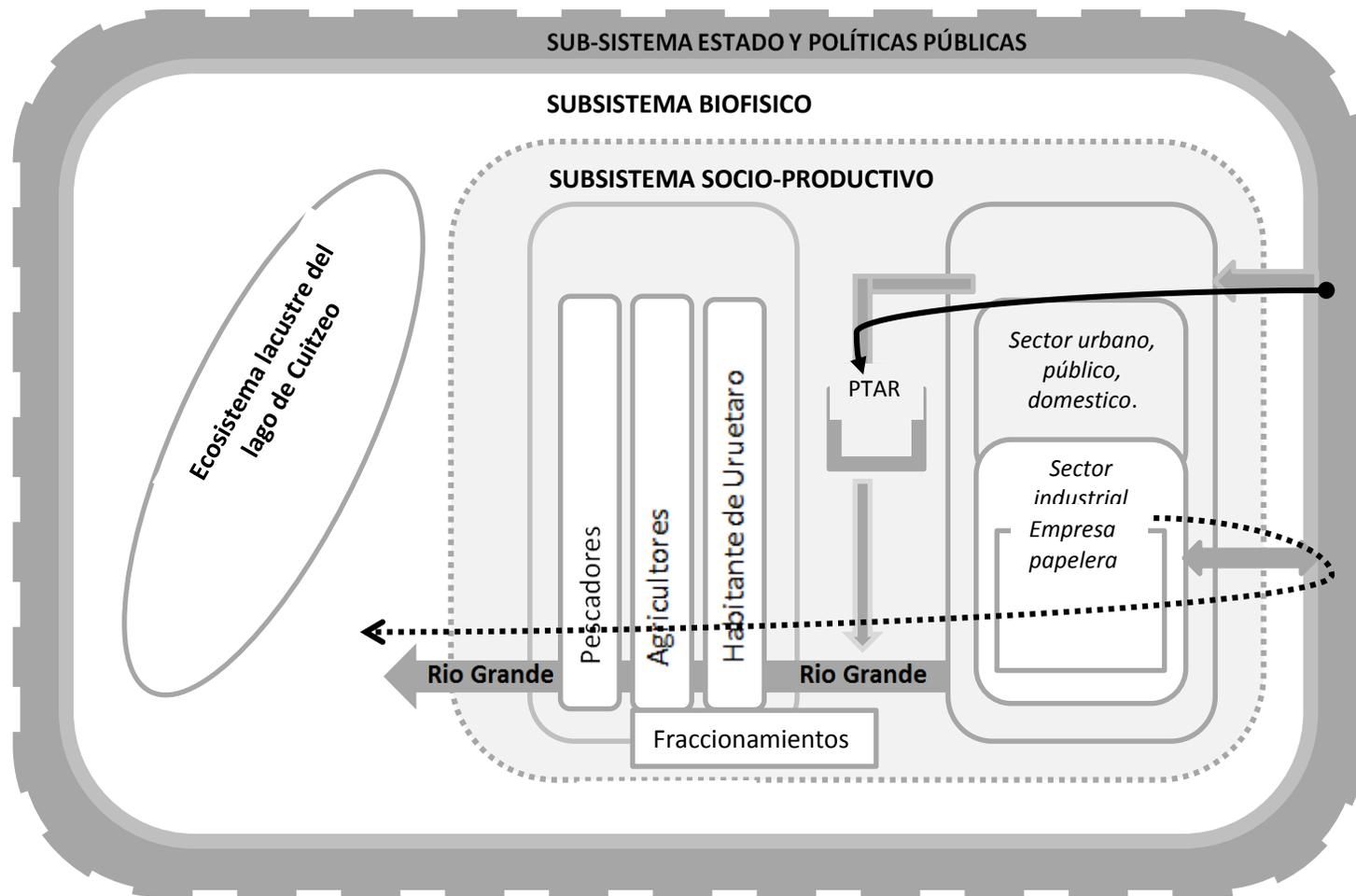
Al llegar sus aguas contaminadas al lago producen su eutrofización y proliferación de enfermedades parasitarias en peces y aves, provocando impactos al sector pesquero del lago pues extraen un producto de mala calidad sanitaria.

Este escenario socio-ambiental es resultado, de la permisividad del Estado y sus instituciones (CONAGUA), ante el irregular funcionamiento de la empresa papelera al emitir descargas altamente contaminantes. Así como por simular sistemáticamente, en acuerdo con el municipio de Morelia, el saneamiento de las aguas residuales de la ciudad y del Río Grande.

El papel del Estado en el manejo del agua, protección ambiental y control de la urbanización en la cuenca es contradictorio. Por un lado, el Estado Visible (el que cumple la ley y vela por el bien común) presenta un discurso ambientalista que comprende a todos los sectores de la cuenca, a través de un supuesto saneamiento del Río Grande y por consiguiente de la cuenca. Por otro lado, sus acciones como Estado no Visible (el que orienta e incluso viola la ley para favorecer los intereses privados) se enfocan a beneficiar a los sectores económicos y empresariales (empresa papelera y especuladores inmobiliarios) concentrados en la ciudad de Morelia, en perjuicio de los sectores rurales de la cuenca baja y sus actividades productivas.

Por lo tanto se concluye que el sistema complejo de estudio se encuentra en un estado de degradación de la base biofísica que mantiene a las sociedades (urbanas y rurales), a través de un manejo del agua no sostenible ni congruente con la legislación correspondiente: no se regresa el agua saneada a los ecosistemas. Ni el municipio ni el sector industrial se someten a la legislación, solo simulan el saneamiento de sus aguas lo que genera daños en zonas rurales de la cuenca baja (Figura 49 y Tabla 32).

Figura 49. Sistema complejo de estudios y sus interacciones.



Fuente; Elaboracion propia.

- Influencia del Estado no visible en el sistema (nace del sector industrial, influencia al Estado y tiene libertad para que las aguas residuales de la empresa papelera circulen por toda la cuenca hasta el lago de Cuitzeo sin restricción alguna)
- Influencia del Estado visible en el sistema (solo propone Plantas de tratamiento)

Tabla 32. Situación actual y futura del sistema complejo de estudio.

Subsistema	Función	Estado actual del subsistema	Escenarios a futuro del subsistema
Físico (cuena, agua, ecosistemas)	Espacio geográfico con sociedades y recursos naturales, donde el agua es integrador de sistemas naturales y sociales a través de servicios ecosistémicos (bosques, ríos, lago, etc.).	En deterioro	El agua padece mayor demanda, más contaminación y menor capacidad de autodepuración natural de los ríos, más deforestación (madera, leña, fibras). Además hay cambios en los patrones de precipitación, en el balance hídrico de la cuena, más azolvamiento del lago, riesgo de inundaciones, cambios de temperatura. Esto conlleva a la pérdida de especies animales y vegetales, aumento de enfermedades relacionadas con el agua, mayor conflictividad entre comunidades rurales y urbanas.
Sociedades de la cuena	Población y actividades económicas que han manejado y explotado el agua de la cuena para su beneficio.	En crecimiento	Tendencia al crecimiento de la mancha urbana e industrialización de la cuena para su integración a procesos globales de mercado. Afectación del ámbito rural y sus actividades productivas por la contaminación del agua.
Estado (Políticas públicas del agua/ambientales/urbanas).	Aplicar el marco legal a través de las instituciones para regular el manejo de los recursos naturales, la urbanización, industrialización y el manejo del agua en la cuena.	En contradicción entre las políticas (urbanas, ambientales, agua).	Tendencias a un mayor dominio de las políticas de urbanización e industrialización en la cuena sobre las políticas ambientales y del agua debido a intereses económicos de grupos de poder en la cuena.

Fuente: Elaboración propia.

Paralelo a los resultados obtenidos en esta investigación también se logró, a nivel personal, un cambio epistemológico sustancial en la forma de ver y entender problemáticas socio-ambientales. Se transitó desde la perspectiva disciplinaria a una interdisciplinaria, a través de un salto cualitativo de la Biología al campo de la complejidad, a través de la aplicación de metodologías que involucraron el análisis elementos de diferente naturaleza (sociales, ecológicos, políticos). Se tuvieron ángulos y observables distintos a la disciplina de procedencia así como una percepción de la relevancia de las relaciones de poder y del papel del Estado en la generación de la problemática socio-ambiental.

Lo anterior ha generado una visión que empieza a acercarse al pensamiento complejo y sistémico, objetivo que pretende el Posgrado en Ciencias Biológicas a través de la Orientación en Manejo Integral de Ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Albores, Beatriz. 1995. *Tules y sirenas: el impacto ecológico y cultural de la Industrialización en el Alto Lerma*. El Colegio Mexiquense y Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México, Toluca.
- Ávila, Patricia. 2001. "Agua, conflicto y deterioro ambiental en Morelia". En *Innovaciones mexicanas en el manejo del agua*. Editado por David Barkin. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco/ Centro de Tercer Mundo para el manejo del agua/ Asociación Internacional de Recursos Hídricos/ Centro de Ecología y Desarrollo, México.
- Ávila, Patricia. 2002. "Estado y política de agua en la cuenca del lago de Cuitzeo". En *Entre Campos de Esmeralda*. Editado por Martín Sánchez. El Colegio de Michoacán.
- Ávila, Patricia. "Sociedad-agua a través de la historia de una ciudad: Morelia". En: *El futuro del agua en México*. Editado por B. Graizbord y J. Arroyo Coord. El Colegio de México, Universidad de Guadalajara, PROFMEX y Casa Juan Pablos. México.
- Ávila, Patricia. 2004. "Especulación del suelo y deterioro socio-ambiental en la ciudad de Morelia". En *Hacia la sustentabilidad en barrios y centros históricos*. Editado por Catherine Ettinger y Alfonso Iracheta, SUMA-UMSNH-Red Mexicana de Ciudades hacia la sustentabilidad, México.
- Ávila, Patricia. 2006. "Movimiento urbano y conflictos por el agua". En *El derecho humano al agua en México*. Editado por Esch Sophy. Visiones vs. Realidades. Ediciones Böll. México.
- Ávila, Patricia. 2007. *Agua, ciudad y medio ambiente: una visión histórica de Morelia*. UNAM, SEDESOL, Ayuntamiento de Morelia, Michoacán México.
- Anton, Danilo. 1996. *Ciudades sedientas; agua y ambientes urbanos en América Latina*. UNESCO-CIID-Nordan, Ottawa.
- Barkin, David. 2006. *La Gestión del Agua Urbana en México: retos, debates y bienestar*. Universidad de Guadalajara y Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México.
- Berkes Fikret y Carl Folke. 1998. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University, Press, New York.

Bocco, Gerardo., López Granados y Manuel Mendoza. 2012. "La investigación Ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo; una revisión de la bibliografía". En *Contribuciones para el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México*. Publicada por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, Campus Morelia, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH.

Bossel, Hartmut. 1994. *Modeling and simulation*. A. K. Peters, Wellesley MA, and Vieweg, Wiesbaden.

Boyd, James y Spencer Banzhaf. 2007. *What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units*. Georgia State University, United States, Energy and Natural Resources Division, Washington, DC. Ecological Economics.

Breña Puyol, Agustín y José A. Breña Naranjo. 2009. *Problemática del recursos agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México*: UAM-I Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. PDF disponible en; [file:///C:/Users/estudiante/Downloads/aguavallemex%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/estudiante/Downloads/aguavallemex%20(2).pdf)

Buenrostro, Otoniel, Israde Alcantara. 2003. *La Gestión de los Residuos Sólidos en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, México*. Revista Internacional de contaminación Ambiental.

Cabrera, Jorge S. 2012. "Metropolización forzada en la ciudad de Morelia, Michoacán". Tesis de Licenciatura. Facultad de urbanismo. Ciudad Universitaria, Distrito Federal, Febrero 2012.

Cantrell, D.C. 1999. *Alternative Paradigms in Environmental Education Research: The interpretative Perspective*. *Alternative Paradigms in Environmental Education Research*, Part I.

Carabias, Julia y Rosalba Landa. 2005. *Agua, Medio Ambiente y Sociedad: Hacia la Gestión Integral de Recursos Hídricos en México*. UNAM, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Rio Arronte, 220 pp.

Chacón Torres, Arturo, Rosas-Monge C, Alvarado-Díaz J. 2000. "The effects of Hypereutrophication". En *A tropical Mexican lake*. Editado por Munawar H, Lawrencen SG, Munawar IF, Malley DF (eds), Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope, pp. 89-101

Collins, Scott L, Stephen R Carpenter, Scott M Swinton, Daniel E Orenstein, Daniel L Childers, Ted L Gragson, Nancy B Grimm, J Morgan Grove, Sharon L Harlan, Jason P Kaye, Alan K Knapp, Gary P Kofinas, John J Magnuson, William H McDowell, John M Melack, Laura A Ogden, G Philip Robertson, Melinda D Smith, and Ali C Whitmer. 2011. *An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research*. Frontiers in Ecology and the Environment. Front Ecol Environ: www.frontiersinecology.org

COMPESCA. 2013. Comisión de Pesca del Estado de Michoacán. Información solicitada al departamento de acceso a la información.

CONAGUA. 2001. Comisión Nacional del Agua. *Datos sobre disponibilidad del agua*.
<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=62&n3=92>

CONAGUA. 2008. Comisión Nacional del Agua. *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*.
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH_05-08.pdfMéxico.

CONAGUA. 2009. Comisión Nacional del Agua. Plan de gestión integral de los recursos naturales para la Cuenca del Lago de Cuitzeo. Morelia, Michoacán.
<http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/manejo-de-cuencas/3254-cuenca-del-lago-de-cuitzeo/36462-plan-de-gestion-integral-de-los-recursos-naturales-de-la-cuenca-del-lago-de-cuitzeo>

CONAGUA. 2010. Comisión Nacional del Agua. Disponibilidad de agua subterránea.
<http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=112>

CONAGUA. 2002. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ReporteekonomicodeAASEPTIEMBRE08.pdf>

CONAGUA. 2011. Comisión Nacional del Agua. Inventario de plantas de tratamiento en México y Michoacán.
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-INVENTRIO%202011%20FINAL.pdf>

CONAGUA-REPDA 2012. Comisión Nacional del Agua. Registro Público de Derechos del Agua.
<http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>

CONAGUA. 2013. Marco normativo de la Comisión Nacional del Agua.
<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=27>

CONAGUA. 2013. Comisión Nacional del Agua. Indicadores de la calidad del agua.

<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>

CONAGUA. 2015. Comisión Nacional del Agua. Principales presa de Mexico.

<http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua33.html>

Constantza, Robert, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farberk, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Suttky y Marjan Van Den Belt. 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Journal Nature, Vol. 387. 15 MAY 1997

Cotler Avalos, Helena, Arturo Garrido, Rogelio Mondragón y Alejandro Díaz. 2007. *Delimitación de Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250:000*. INEGI-INE-CONAGUA, México. 35.

Cruz, Cira. 2009. *Dinámica de las variables fisicoquímicas y clorofila "a" de la Mintzita, 2009. Morelia, Michoacán, México*. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis de Licenciatura..

Daily, Gretchen C. 1997. *Introduction: What are ecosystem services*. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

De la Peña, María Eugenia, Jorge Ducci, Viridiana Zamora Plascencia. 2013. *Tratamiento de aguas residuales en México*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Sector de Infraestructura y Medio Ambiente, Nota Técnica # IDB-TN-521

Díaz, Laura S. 2013. "Evaluación de la calidad en agua y sedimentos del Rio Grande de Morelia, Michoacán". Tesis de Maestría en ingeniería ambiental. Facultad de Biología Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Febrero de 2013.

Dunee, Thomas, y Luna B. Leopold. 1978. *Water in environmental planning*. W.H. Freeman an Company. New York. 818 pp.

FAO, 2013; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html>

Flores-Villela, O. y L Canseco-Márquez. 2004. *Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México*. Acta Zoológica Mexicana, 115-144.

Gaona, Quesada. Rafael. 2013. "Factibilidad económica para el aprovechamiento de aguas tratadas de PTAR Atapaneco en módulos II al IV del DR020 Morelia-Queréndaro utilizando SIG". Tesis de Maestría en Hidro-ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Estado de México.

García, Sánchez, Magdalena. 2004. "El modo de vida lacustre en el valle de México: ¿mestizaje o proceso de aculturación?". En *Mestizajes tecnológicos y cambios culturales en México*. Editado por Enrique Flores Cano y Virginia García Acosta, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México.

García G. J. O, Carrillo S. E. 2005. *Relación Urbano Rural y Medio Ambiente en la Región Centro de Michoacán, México*. Universidad de Málaga. España y Latinoamérica.

García, Rolando. 2006. *Sistemas Complejos; Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Octubre de 2006, Barcelona, España Ed. Gedisa.

González T, Daniel. 2008. "Análisis multicriterio para la priorización de subcuenca y Municipios para la aplicación de las políticas de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales en la cuenca del lago de Cuitzeo". Tesis de Maestría en Geografía, Manejo Integrado del Paisaje. CIGA-UNAM Morelia Michoacán,

Gómez, A. 2002. *Valuación económica del impacto ambiental de las descargas de aguas residuales municipales*. Memorias de congreso, FEMISCA.

Gómez M, J. 2003. "Evaluación de la Calidad del agua con base en los parámetros fisicoquímicos, productividad primaria y análisis bacteriológico de la Presa la Mintzita, Municipio de Morelia, Michoacán, México". Tesis Licenciatura. Facultad de Biología. UMSNH 70 pp.

Guzmán V, U. 1991. *Estudio herpeto-faunístico. En impacto que causan las aguas del Rio grande de Morelia en el Distrito de Riego del valle Morelia-Queréndaro*. UMSNH, Michoacán, México.

Guzmán C, María del Carmen 1997; "Análisis de las principales trematodiasis que afectan a algunas especies de peces del lago de Cuitzeo, Michoacán". Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Director de Tesis. M.C. Luis García Prieto. México. DF

Healan, Dan, y Christine Hernández, 1999; "Asentamiento prehispánico y cronología cerámica en el noreste de Michoacán". En Eduardo Williams & Phil C. Weigand (ed.) *Arqueología y etnohistoria: la región Del Lerma: 133-155*. Centro de Investigación en Matemáticas, El Colegio de Michoacán, México.

Hernández Sampieri, R. Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio. 2010. *Metodología de la investigación*: Quinta edición. Edit. McGrawHill. Interamericana Editores, S.A. de C.V. Delegación Álvaro Obregón, México.

IPCC. 2007. Intergovernmental Panel On climate Change. 2007. Cambio Climatico 2007. Informe de síntesis.

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

IPCC. 2008. Intergovernmental Panel On climate Change. 2008. Climate change and water, WMO-UNEP.

<http://ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>

INEGI. 2000. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Uso del suelo en México y en la cuenca del lago de Cuitzeo.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reccat/usosuelo/>

INEGI. 2010^a. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Poblacion en la cuenca.

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Mich/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=16>

INEGI 2010b. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Censo de población 2010.

http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/panora_socio/mich/Panorama_Mich.pdf

INEGI 2010c. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Actividas productivas en Mexico y en Michoacan.

<http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/gana/default.aspx?tema=E>

INEGI 2010d; Instituto Nacional de Geografía e Informática. Anuario Estadístico

http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2010/Aepef2010.pdf

INEGI 2011. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Catálogo de localidades de los municipios de México.

<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/>

INEGI 2015. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrograficas.

http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#

Israde Alcántara, Isabel, Lozano García S, Garduño Monroy V.H., Ortega Guerrero B, Velázquez Duran R, Domínguez Velázquez G. 2009. "Paleo ambientes de las cuencas de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén y su influencia en el cambio climático regional". Cuarto Congreso Estatal de Ciencia y Tecnología. Michoacán.

Jiménez, B, H. Garduño y R. Domínguez. 1998. "Water availability in Mexico considering quantity, quality and uses". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124:1-7.

Jiménez, B J, Ramos Quezada, E. Barrios y E. Becerril. 1999. "Análisis de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para los diferentes usos#". En *Criterios de agua para uso y consumo humano*. Gerencia de Calidad, Reúso del Agua e Impacto Ambiental de la Comisión Nacional del Agua por el Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto 7384, diciembre de 1999.

Lindig, Roberto. 2010. La Mintzita Pan y circo.
<http://ajenjoderealidad.blogspot.mx/2010/01/la-mintzita.html>

López, Erna, Bocco Gerardo y Manuel Mendoza. 2012. "La investigación ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo. Una revisión de la bibliografía publicada". En *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán*. Editado por Bravo Espinoza, M., G. Barrera Camacho, M.E. Mendoza J.T. Sáenz Reyes, R. Sánchez Martínez y Bahena Juárez. F. Campo experimental Uruapan-INIFAP Y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM. Morelia. Mich.

Macías, P. 1997. *Estudio para obtener un incremento en producción agrícola del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro a través del mejoramiento de la infraestructura hidráulica existente*. Centro Regional Universitario Centro Occidente, Depto. de Sociología Rural, Universidad Autónoma Chapingo. Morelia, Mich. 106 p.

Maass, Jose Manuel y A. Martínez- Yrizar. 1990. "Los ecosistemas; definición, origen e importancia del concepto". *Ciencias* (Núm. Esp.).

Maass, Jose Manuel, Victor Jaramillo, Angelica Martínez-Yrizar, Felipe García-Oliva, F Pérez-Jiménez, Jose Sarukhán. 2002. "Aspectos funcionales del ecosistema de selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco". En *Historia Natural de Chamela*. Editado por Noguera, F.A. Vega, J.H. García-Aldrete, A.N., Quesada, M. (eds.). Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., México.

Maass, Jose Manuel y Helena Cotler. 2007. "Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas". En *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental (segunda edición)*. Editado por Cotler, H. (compiladora). Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, México. D. F.

Madrigal, E. 2005. "Calidad del agua de los pozos de abastecimiento de la ciudad de Morelia". Tesis en Ingeniería Civil. Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. Dirección General de Bibliotecas 2005.

Martínez T. M. 1991. "Estudio ictiológico". *En impacto que causan las aguas del Río Grande de Morelia en el Distrito de Riego del Valle Morelia Queréndaro*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán.

Martínez *et al.* 1996. *Impacto de uso de las aguas residuales del Río Grande de Morelia en el Distrito de Riego 020 del Valle Morelia-Queréndaro*. Facultad de Química, Biología e Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán.

Martínez, 2010: pag. 31. El lago de Cuitzeo a punto de desaparecer. Diario La Jornada.
<http://www.jornada.unam.mx/2010/03/28/estados/027n1est>

Mathuriau, Catherine, Isabel Israde-Alcántara, S. Herrerrón Escutia y Manuel Maass Moreno. 2010. "Evaluación de la calidad del agua de los ríos con bioindicadores". Pag. 210-213 *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Mathuriau, Catherine, S. Herrerrón Escutia y J. Rangel Camarena. 2010^a. "Evaluación de la calidad del agua de los ríos con DQO y DBO5" pp.206-209 *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Mathuriau, Catherine y S. Herrerrón Escutia. 2010^b. "Insectos acuáticos de los ríos" Pag. 88-91. *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Meadows, 2008; "The System Dynamics Perspective". *En Sustainability Science* de Bert J. M. de Vries. Capítulo 2; Cambridge books on line.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511794469>. pp. 14-53.

Medina-Nava, M. 2003. "Peces de Agua Dulce y Salobre de Michoacán". *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Mejía, M. 1987. *Estudio de calidad del agua del Río Grande de Morelia*. Secretaria de Agricultura y Recurso Hidráulicos (SARH). Morelia, Michoacán, México.

Mendoza, Manuel. 2002. "Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo". Tesis Doctorado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, pp.188.

Mendoza, Manuel, Gerardo Bocco, Erna López y M. Bravo. 2002. "Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo". *Investigaciones Geográficas* 49: 98-117.

Mendoza, Manuel, Gerardo Bocco, M. Bravo y Erna López. 2005. "Evaluación de la calidad espacial y temporal de estaciones meteorológicas. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo". *Ciencia Nicolaita* 39: 79-94.

Mendoza, Manuel, Otoniel Buenrostro y Erna López G. 2005. "Análisis comparativo de tres modelos de soporte de decisiones espaciales en la selección de sitios para rellenos sanitarios en la Cuenca del Lago de Cuitzeo" En: *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 57: 21-38.

Metcafl y Eddy. 1995. *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Ed. Mx. Graw Hill Interamericana de España S. A. Madrid.

Metcalfe y Eddy. 1998. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición, Editorial McGraw-Hill.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2003, 2005, 2006. *Ecosystems and human well-being; current state and trends*. Tomo 1. Island Press. Washington.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005b. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press. Washington, DC:

Naiman, Robert J. 1996. "Water, society and landscape ecology". En *Landscape Ecology* 11 (4): Pag. 193-196.

Núñez Garduño, Arturo. 2005. *Los mamíferos silvestres de Michoacán. Diversidad, Biología e importancia*. Edit. Universitaria, U.M.S.N.H. 448 pp. Michoacán Programa de Desarrollo Urbano del Estado de Michoacán de Ocampo 2007-2025.

OOAPAS, 2014: Información solicitada al departamento de acceso a la Información del Organismo Operador de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento.

Ortega-Murillo, María del Rosario, Alvarado-Villanueva Reyna, Martínez- Sánchez Ivon, Arredondo-Ojeda Marbella y Sánchez-Heredia Juan Diego. 2007. "Estado trófico de la presa la Mintzita, Morelia, Michoacán con base en la abundancia y distribución del fitoplancton". *Revista Biológicas*, No. 9, pp. 105-114, 2007, Publicado por la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ortega Murillo, Maria del Rosario. 2010. "Contribución al conocimiento del fitoplancton del Lago de Cuitzeo, Morelia, Michoacán". Tesis de Licenciatura Escuela de Biología. UMSNH, 100.

Osorio, Jaime. 2004. *El Estado en el centro de la mundialización: La sociedad civil y el asunto del poder*. Fondo de Cultura Económica, México. 2004

Ostrom, Elinor. 2009. "A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems". *Journal Science* 325, 419.

Palmer, M.A, J. Bernhardt, J. D. Allan, P.S. Lake, G. Alexander, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C. N. Dahm, J. Follstad Shah, D. L. Galat, S. G. Loss, P. Goodwin, D. D. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, G.M. Kondolf, R. Lave, J.L. Meyer, T.K. O'donnell, I. Pagano y E. Sudduth. 2005. "Standards for ecologically successful river restoration". *Journal Applied Ecology*. 2005 42, 208–217

Peña, Francisco. 2003. "Peces chicos en la cuenca de Cuitzeo, la gestión del agua en una Región de México". Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Universidad de Guadalajara. México.

Peña, Francisco. 2004. "Agua y cambios territoriales en la cuenca de Cuitzeo". En *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, No. 28, México.

Pérez-Ponce de Leon, G. Garcia, P.L. Osorio, S.D. y Leon, R.V. 1996. "Helminthos Parásitos de Peces de Aguas Continentales de México". En *Listados faunísticos de México*. VI. IBUNAM-1-100

Pérez, Montserrat, Francesc Torrades, Jose A. Garcia Hortal, Xavier Domenech y Jose Peral. 1997. "Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents by TiO₂ photocatalyzed oxidation". *Journal Photochemistry and Photobiology*. No. 109. Pag 281-286.

PND 2007 – 2012; Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012
www.pnd.calderon.presidencia.gob.mx/index.php?page=documentos-pdf

PNH 2007 – 2012; Programa Nacional Hídrico 2007-2012
www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/.../PNH_05-08.pdf

Pompa López, Isi Yadira. 1995. "Impacto del deterioro ambiental del lago de Cuitzeo en organizaciones de pescadores de la ribera". Tesis de maestría. Maestría en Desarrollo Rural Regional, Dirección de Centros Regionales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 143 p.

Ponce Saavedra, Javier. 2005. "Insectos y arácnidos". En *La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*. Editor por L. Villaseñor G. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

PROFEPA. 2015. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Programa Nacional de Auditoría Ambiental.
http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/26/1/mx/programa_nacional_de_auditoria_a_ambiental.html

RAMSAR. 2012. Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional.
<https://rsis.ramsar.org/ris-search/mintzita?pagetab=0>

REPDA, CONAGUA. 2013. Registro Público de Derechos del Agua.
<http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>

Restrepo, Ivan. 1995. *Agua, Salud y Derechos Humanos*. Comisión Nacional de Derechos Humanos, México.

Rodríguez Castro, J.A, Jesús Silva Corona, Roberto García Acevedo y Ricardo Ruiz Chávez. 2012. "Disponibilidad de las aguas subterráneas en el valle Morelia-Queréndaro". En *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacan*. Editado por: Miguel Bravo Espinosa, Gerardo Barrera Camacho, Manuel E. Mendoza, J. Trinidad Sáenz Reyes, Fernando Bahena Juárez, Rubén Sánchez Martínez. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Uruapan y Universidad Nacional Autónoma de México (Campus Morelia) Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Primera edición 2012.

Rojas, Teresa. 1985. "La cosecha del agua en la cuenca de México". Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México. Cuadernos de la Casa Chata. No. 116.

Rojas M. J. y A. Novelo Retana. 1995. "*Flora y Vegetación Acuáticas del lago de Cuitzeo*". En *Acta Botánica*. Michoacán, México.

Romero Peñalosa, Jorge. 1998. *Agricultura, regiones y deterioro de recursos naturales en Michoacán: situación actual y retos*. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Centros Regionales Universitarios, Centro Regional Universitario Centro Occidente (CRUCO). Morelia, Michoacán. En prensa

Romero Peñaloza, Jorge, Francisco Peña de Paz, Armando Ortiz Calderón, Isi Yadira Pompa López y Eloísa Valdivia Carreón. 2003. *Agricultura y recursos naturales en la cuenca del Lago de Cuitzeo*. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Centros Regionales Universitarios, Centro Regional Universitario Centro Occidente (CRUCO). Morelia, Michoacán. Núm. 25.

Rosiles, Luis Felipe. 2013. Al 100% Presa Cointzio: Gobierno.

<https://www.quadratin.com.mx/principal/Al-100-presade-Cointzio-Gobierno/>

Rueda Valdivia, José Francisco. 2010. *Autodepuración y Vertidos en cursos fluviales*. Universidad De Granada. Ingeniería Sanitaria 2010; Editorial UGR. España.

Sánchez A. Angélica Patricia. 1997. "Helminto fauna de la Chegua *Allophorus robustus* (pisces: Goodeidae) del lago de Cuitzeo, Michoacán, México". Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. México D.F.

Scholz, Roland W, y C. R. Binder. 2003. *The paradigm of human-environment systems. Natural and Social Science Interface*. Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, Switzerland.

Scholz, Roland W, y C. R. Binder. 2004. Principles of humanenvironment systems research. En C. Pahl, S. Schmidt y T. Jakeman, editorial iEMSs. International Congress: Complexity and Integrated Resources Management. International Environmental Modelling and Software Society, Osnabrueck, Germany.

Scholz, Roland W, C.R. Binder y D. J. Lang. 2011. "The HES Framework". En *Environmental literacy in science and society: from knowledge to decisions*. Editado por R. W. Scholz. Cambridge University Press.

SEMARNAT. 2015. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.gob.mx/semarnat>

Scott, Christopher A, J. Banister. 2007. *El dilema de la regionalización de los recursos hídricos en México bajo la asignación centralizada de recursos*. Universidad de Arizona. Archivado desde el 23 de noviembre de 2015.

SIATL. 2015. Simulador de flujos de agua en cuencas hidrográficas. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/

Silva Corona. Jesús. 1999. "Determinación de las condiciones hidrogeológicas y de calidad de agua de los acuíferos del Valle Morelia-Queréndaro". Tesis de Ingeniería. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de ingeniería civil. Morelia. Pág. 8-9, 11.

Solorio Ornelas, Edgar y M. Medina Nava. 2004. "Ictiofauna del Arroyo San Marcos en la Subcuenca del Lago de Cuitzeo, Cuenca Lerma-Chapala". En

Biológicas No. 6. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pag. 27-36.

SUMA, 2015; Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente.

<http://suma.michoacan.gob.mx/>

Taylor, S. J y R. Bogdan. 1987. *Introducción a los métodos cualitativos de Investigación: La búsqueda de significados*. Paidós Ibérica, S. A. y Editorial Piados. Barcelona.

Thornthwaite, C.W y J.R. Mather. 1957. "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance". En *Climatology*. Vol. 10, No.3 Pag. 185- 311. Institute of Technology, Centerton, New Jersey.

Trigueros L, Paz. 1990. "Procesos de modernización agrícola en el Distrito de Riego Morelia-Queréndaro y la inserción de la producción ejidal". En *Sociología*. Año 5, núm. 13. mayo- agosto. UAM- México.

Vainio, Ulla, Natalia Maximova, Bo Hortling, Janne Laine, Per Stenius, Liisa Kaarina Simola, Janis Gravitis y Ritva Serimaa. 2004. *Morphology of dry lignin and size and shape of dissolved Kraft lignin particles by X ray scattering*. *Langmuir*, 20: 9736-9744.

Vargas Uribe, Guillermo. 2006. "Cambios del entorno ecológico de Valladolid-Morelia. Una perspectiva desde la historia ambiental". En: *El impacto del desarrollo urbano en los recursos naturales*. Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán CIDEM/UMSNH.

Villaseñor, G. 1994. "Avifauna Terrestre y Acuática del Lago de Cuitzeo". En *Ciencia Nicolaita*. Num. 6. Pag. 48-62

Weigand, Phil C y Eduardo Williams. 1999. *Introducción, en Arqueología y etnohistoria: la región del Lerma*. El Colegio de Michoacán, Zamora.

United Nations. 1996. *An Urbanizing World: Global Report and Human Settlements*. United Nations. Centre for Human Settlements, Oxford University Press.

Vidal Zepeda, R. 2005. "Las Regiones Climáticas de México. Temas selectos de Geografía de México. En *Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde-Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Villeda Gonzales, L. 1997. "Botriocéfosis en peces del lago de Cuitzeo, Michoacán, México". Tesis licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México. DF.

Vitousek, P, Harold A. Mooney, Jane Lubchenco y Jerry M. Melillo. 1997. "Human Domination of Earth's Ecosystems". En *Science*. New Series, 277. No. 5325. Julio 25, 1997. Pag. 494-499

Williams, Eduardo. 1990. "El agua como recurso estratégico: el caso de la cuenca de Cuitzeo en la época prehispánica". En *Agua y Lagos: Una mirada desde lo global hasta lo local*. Editado por Ávila P. 2006. Colección Biblioteca Michoacana, Gobierno del Estado de Michoacán.

Williams, Eduardo. 1999; "The Ethnoarchaeology of Salt Production at Lake Cuitzeo, Michoacán". En *Latin American Antiquity*. Vol. 10, No. 4. Society for American Archaeology.
<http://www.jstor.org/stable/971964>.

Williams, Eduardo. 2005. *La etno-arqueología de la producción de sal en la cuenca del Lago Cuitzeo, Michoacán, México*.
<http://www.famsi.org/reports/02006es/section07.htm>

Williams, Eduardo. 2009b. "Producción e intercambio de recursos estratégicos en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán, durante el periodo Protohistórico". En *las sociedades complejas del Occidente de México en el mundo mesoamericano: Homenaje al Dr. Phil C. Weigand*. Editado por Eduardo Williams, Lorenza López Mestas, and Rodrigo Esparza, pp. 290–314. El Colegio de Michoacán, Zamora.

Otros Recursos; Electrónicos, impresos

Diario Oficial de la Federación (2010). En cámara de diputado del H. Congreso de la unión. DOF. Recuperado junio 2013 de

NOM-127-SSA1-1994.
(<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>)

Constitución política delos Estados Unidos Mexicanos.
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>

Ley de aguas nacionales
www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_110814.pdf

Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.
www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/LeyFederaldeDerechos.pdf

Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA).
www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_ANP.pdf

Ley General de Salud.
www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgs.htm

NOM-014-SSA1-1993 [DOF, 1994] .
www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/014ssa13.htm

NOM-012-SSA1-1993 [DOF, 1994]
www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/012ssa13.html

NOM- 179-SSA1-1998.
www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/179ssa18.html

NOM-127-SSA1-1994.
www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html

NOM-001-SEMARNAT-1996;
www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/.../nom-001-semarnat-1996.pdf

NOM-002-Semarnat-1996 [DOF, 1998a]
www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/.../NormasOficialesMexicanas.pdf

NOM-003-Semarnat-1997 [DOF, 1998b]
www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=09/08/2011

Constitución del Estado de Michoacán
www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/.../Michoacan/wo33247.pdf

Ley Ambiental y de Protección del Patrimonio Natural (LAPPN)
<http://docs.mexico.justia.com.s3.amazonaws.com/estatales/michoacan/ley-ambiental-y-de-proteccion-del-patrimonio-natural-del-estado-de-michoacan-de-ocampo.pdf>

Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
www.leyes.michoacan.gob.mx/destino/O47fu.pdf

ANEXOS

ENTREVISTA A PESCADORES

- 1.- ¿le ha servido de algo estar en una asociación (pesquera o agrícola)?
- 2.-¿el agua que usa para sus productos de qué calidad la considera?
Mala/buena ¿por qué?
- 3.- ¿A qué atribuye que calidad del agua sea mala?
- 4.- ¿cómo era la calidad del agua hace 20 años?
- 5.- ¿cómo era el lago hace 20 años?
- 6.- ¿el agua que desecha la ciudad de Morelia afecta o beneficia al lago? ¿por qué o en qué?
- 7.- ¿existen otras fuentes de contaminación que afecten al lago?
- 8.- ¿cuáles son?
- 9.-¿cómo le afectan a usted en su actividad productiva?
- 10.-¿cómo le afecta a usted en la salud física (y familia)?
- 11.- ¿cómo es la relación con los agricultores?
- 12.- ¿qué lazos de colaboración existen con ellos?
- 13.- ¿han tenido conflictos con otros agricultores por el uso del agua? ¿qué conflictos?
- 14.- ¿conoce las instituciones relacionadas con el cuidado del lago y con las actividades que usted realiza?
- 15.- ¿todo lo anterior como ha afectado a las poblaciones de aves y peces desde hace unos 20 años a la fecha?
- 16.- ¿qué sustancias cree que contiene el agua que les llega de la ciudad de para impactar tan negativamente al lago?
- 17.- ¿qué piensa que se puede hacer para mejorar y revertir esta situación?
- 18.- ¿quién debe hacerlo?
- 19.- ¿que estaría dispuesto a hacer para contribuir a la solución?

ENTREVISTA A AGRICULTORES

- 1.- ¿le ha servido de algo estar en una asociación?
- 2.- ¿cuáles son las ventajas de estar dentro de una organización
- 3.- ¿el agua que usa para sus actividades, de que calidad la considera; mala (pasa a la pregunta 10) buena (pasa a 26) ¿por qué?
- 4.- a que atribuye que calidad del agua sea mala?
- 5.- ¿cómo era la calidad del agua hace 20 años a la que hoy utilizan en el distrito de riego?
- 6.- ¿el agua que desecha la ciudad de Morelia impacta a las actividades agrícolas del distrito de riego?
- 7.- ¿qué otra fuente de contaminación contribuye a la degradación del lago además del agua de la ciudad de Morelia y que le afecta en sus actividades?
- 8.- ¿cómo es la relación con los pescadores?
- 9.- ¿qué lazos de colaboración existen con ellos?
- 10.- ¿conoce las instituciones relacionadas en el distrito de riego y con las actividades que usted realiza?
- 11.- ¿qué tipo de apoyos o programas recibe de estas instituciones?
- 12.-¿cómo le afecta a usted en la salud física (y familia)?
- 13 ¿cómo le afecta en la calidad y cantidad de los productos??
- 14.- ¿qué piensa que se puede hacer para mejorar y revertir esta situación?
- 15.- ¿quién debe hacerlo?
- 16.- ¿que estaría dispuesto a hacer para contribuir a la solución?
- 17.- ¿cuáles son las razones por las que considera que el agua que usa es de buena calidad?

Entrevista a CNA

- 1.- ¿Cuál es el papel de la CNA en la cuenca de Cuitzeo?
- 2.- ¿Cuáles son los programas que se aplican en la cuenca por parte de CNA?
- 3.- ¿Cuáles han sido exitosas y cuáles no?
- 4.- En cuanto a las aguas residuales ¿Cuáles son las políticas públicas que se aplican a n nivel municipal en este tema?
- 5.- ¿Cuál es la situación de la ciudad de Morelia en cuanto al tratamiento de sus aguas residuales?
- 6.- ¿Cuál es la situación del sector industrial en la ciudad industrial en cuanto al uso del agua?
- 7.- ¿Qué industrias tratan y cuales no sus aguas residuales?
¿Por qué las tratan?
¿Por qué no las tratan?
- 8.- ¿Cuál es la legislación que regula el tratamiento de aguas residuales del sector industrial?
- 9.- ¿Qué hará CNA para lograr que toda la industria trate sus aguas residuales y/o la rehúse?
- 10.- ¿Cuáles son las sanciones a las que se hacen acreedores quienes no tratan sus aguas residuales, sector industrial, agrícola, etc?

Entrevista a OOAPAS

- 1.- ¿Cuáles son los programas más importantes del OOAPAS en cuanto a la administración del agua en la ciudad de Morelia?
- 2.- Específicamente en los programas de saneamiento (tratamiento) ¿Cuáles son los logros que tiene OOAPAS? ¿Cuáles son los retos?
- 3.- ¿Cuánta agua residual tratan?
- 4.- ¿Cuál es el tipo de agua que tratan?
- 5.- ¿Es suficiente con la PTAR-Atapaneo para tratar el agua de toda la ciudad de Morelia?
- 6.- ¿Por qué no se trata toda el agua, por ejemplo la del río grande?
- 7.- ¿Cuál sería la diferencia si la industria en Morelia tratara adecuadamente sus aguas residuales y no las vertiera directamente al Río Grande?
- 8.- ¿Cuáles son las normatividades para tratar el agua en que se basa OOAPAS?
- 9 ¿Cuáles son los futuros programas que se tienen para atender la demanda de tratar aguas residuales de la ciudad de Morelia que es un ciudad con fuertes tendencias de crecimiento poblacional?
- 10.- ¿Existe la posibilidad de que en un futuro el agua tratada de la planta pueda ser comercializada a algún interesado o reutilizada por alguna institución pública?
Si ¿Por qué?
No ¿Por qué?
- 11.- ¿es redituable la inversión en tratar agua residual para después desecharla al ecosistema?