

SEGUNDA PARTE | CAPÍTULO 10

LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO GRANDE EN MORELIA Y LOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO

Patricia Ávila¹ | Gersaín Quiahua²

1 | *Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (UNAM). Laboratorio de Ecología Política y Estudios Socio-ambientales: pavila@cieco.unam.mx*

2 | *Egresado del Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (UNAM). Laboratorio de Ecología Política y Estudios Socio-ambientales: gersainq@cieco.unam.mx*

RESUMEN

La contaminación del agua en las ciudades y sus entornos rurales y naturales en México es un problema socio-ambiental asociado con los procesos de urbanización e industrialización experimentados en las últimas cuatro décadas. Los impactos provocados por el aumento de las descargas de aguas residuales de origen urbano-industrial se expresan en: el deterioro de los ecosistemas, la contaminación del agua para actividades agropecuarias y pesqueras, afectación de la calidad de vida de la población y presencia de conflictos socio-ambientales en zonas urbanas y rurales (Ávila, 2008). El presente ensayo estudia la relación sociedad-agua en la cuenca del lago de Cuitzeo, y en particular analiza el papel de las descargas de agua de la ciudad de Morelia y la industria papelera en la contaminación del Río Grande, así como su impacto socio-ambiental en el lago de Cuitzeo y el distrito de riego Morelia-Queréndaro (Ávila, 2007; Quiahua, 2016). Para documentar este problema se realizó investigación documental y de campo en la cuenca, los resultados se exponen en tres apartados: la relación agua-sociedad y el metabolismo urbano como aproximación analítica; el manejo de las aguas residuales en la ciudad de Morelia; y los impactos sociales de la contaminación del agua en el entorno rural.

PALABRAS CLAVE: RELACIÓN CAMPO-CIUDAD | METABOLISMO URBANO
AGUA RESIDUAL | CUENCA HIDROLÓGICA.

LA RELACIÓN AGUA-CIUDAD Y EL METABOLISMO URBANO: UNA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS

Para entender cómo se maneja el agua en una ciudad se parte de la noción de metabolismo urbano (Wolman, 1965; Kennedy et al., 2007), es decir, un sistema abierto con entradas y salidas de flujos de agua, materia y energía entre el centro urbano y su entorno. Dicho metabolismo puede abordarse como un sistema complejo o socio-ecosistema, que se acelera conforme crecen las ciudades y sus actividades económicas (Kennedy et al., 2007; Dinares, 2014). La complejidad radica en que el aumento de la demanda de agua y los desechos urbanos generados afecta los aspectos bio-físicos, económico-productivos, socio-demográficos y tecnológicos de una ciudad y su entorno (García, 2006).

Dinares (2014) señala que la cuestión del agua en la ciudad está asociada además con la producción del espacio y las relaciones sociales y de poder que conllevan a formas de cohesión social y conflicto. En este sentido no se trata solo de entender los flujos de materia, energía y agua, sino las mediaciones sociales y políticas que determinan el manejo del agua en las ciudades. Tales mediaciones pueden abordarse incluso como flujos de poder en torno al agua (Swyngedouw, 2004), que se expresan a través de la apropiación y control de un recurso estratégico (el agua para la ciudad en detrimento de los entornos natural y rural) y la disposición de las descargas de agua residual fuera de la ciudad (afectando a su entorno natural y exacerbando las contradicciones sociales con el campo).

Cabe señalar que por manejo se entiende el uso y aprovechamiento del agua desde su entrada, procesamiento/consumo y salida de los centros urbanos; el cual está mediado por relaciones sociales y de poder en diferentes escalas espaciales: campo-ciudad; centro urbano y entornos natural y rural (Figura 1). Así, el manejo urbano del agua es una expresión de la relación ciudad-agua, que se resume en tres aspectos:

- 1) *La ciudad se apropia del agua proveniente de los ecosistemas forestales y zonas rurales ubicadas en la parte alta de una cuenca hidrológica; o incluso puede trasvasar el agua desde otra cuenca y afectar el gasto ecológico o posibilidades de desarrollo de otras regiones.*
- 2) *La ciudad distribuye de forma desigual el agua para el consumo de la población en función de sus condiciones socioeconómicas y tipo de vivienda (diferenciación socio-espacial); y garantiza el abasto de agua a las actividades económicas más importantes (industria) que compiten con otros usos (urbano, agrícola) y producen bienes y servicios.*
- 3) *La ciudad genera desechos de origen urbano e industrial que son vertidos directamente o con tratamiento mínimo a los ecosistemas (como ríos, lagos, mares) o para el abasto de otros sectores de la población y actividades económicas (rurales principalmente) que se realizan en la parte media y baja de una cuenca hidrológica.*



Figura 11. Límite de la ciudad en donde se observan los campos de cultivo en activo. Autoría Propia

Si bien el modelo de metabolismo urbano parece lineal, en los hechos es dinámico, ya que el deterioro que genera la ciudad en una cuenca por la contaminación del agua, repercute no sólo en los ecosistemas y entornos rurales, sino también afecta a la propia ciudad. Esto es porque muchos productos agrícolas, pecuarios y pesqueros que son afectados por la contaminación del agua son vendidos en los mercados y calles de las ciudades.

No obstante, el interés de este ensayo se centra en el tercer aspecto del manejo del agua: la ciudad como generadora de desechos urbanos e industriales que afectan a los ecosistemas, la población rural y las actividades productivas, ubicadas aguas debajo de una cuenca.

EL MANEJO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MORELIA

La cuenca del lago de Cuitzeo es endorréica, es decir, que todas las corrientes superficiales y subterráneas de agua confluyen al lago de Cuitzeo. Los principales afluentes son los ríos Grande de Morelia y Queréndaro. Esta cuenca comprende 23 municipios del estado de Michoacán y 5 de Guanajuato; y forma parte de la gran cuenca del río Lerma.

En la parte alta de la cuenca se ubican ecosistemas forestales que contribuyen a la recarga de acuíferos y se localizan pequeños asentamientos humanos de origen rural. En su parte media se encuentran ecosistemas transformados donde se realizan diferentes actividades económicas (primarias y secundarias) y se ubican localidades rurales y urbanas. Allí se encuentra el principal centro de población urbana de la cuenca: la ciudad de Morelia, con 597,511 habitantes en 2010 (INEGI, 2010). En la parte baja se ubica el lago

de Cuitzeo, el segundo en extensión en México, después de Chapala; y en sus inmediaciones se desarrollan actividades agropecuarias y pesqueras y existen localidades rurales y urbanas de menor tamaño.

De acuerdo con el Cuadro 1, el abastecimiento de agua superficial para la ciudad de Morelia asciende a más de 56 millones de m³/año, y proviene de la parte alta de la cuenca (subcuencas de los ríos Grande y Chiquito), donde se ubican los ecosistemas forestales que dan origen a los manantiales y ríos que alimentan a la presa de Cointzio, la planta potabilizadora y el sistema de distribución de la Mintzita.

Fuentes de abastecimiento	m³/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

Cuadro 1. Caudal de las fuentes de abastecimiento superficial Elaboración propia con datos de OOAPAS (2013).

En términos cuantitativos, las fuentes de agua superficial más importantes de la ciudad son: el manantial de La Mintzita y la presa de Cointzio. El primero es un humedal con importancia ecológica que se encuentra bajo un estatus de protección estatal (área natural protegida) e internacional (sitio Ramsar), y se alimenta de la recarga del cerro del

Águila y del área de malpaís (basaltos y tobas). Por su parte, la presa de Cointzio se alimenta de las corrientes superficiales que provienen de la sub-cuenca del Río Grande, que pertenece a la cuenca del lago de Cuitzeo. Su capacidad de almacenamiento es de 84 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ de agua, de los cuales, 10 millones $\text{m}^3/\text{año}$ corresponden a la capacidad de azolve, 48 millones $\text{m}^3/\text{año}$ están destinados al distrito de riego Morelia-Queréndaro y 26 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ para la ciudad de Morelia.

Cabe señalar que la presa se construyó en el año 1939, principalmente para dotar de agua a los ejidos ubicados en la parte media y baja de la cuenca que pertenecen a los municipios de Morelia, Tarímbaro y Álvaro Obregón, sin embargo, en 1945 comenzó a dotar de agua a la ciudad de Morelia debido al aumento de la demanda por crecimiento poblacional (Ávila, 2007).

El agua de la presa Cointzio y los manantiales provenientes de la sub-cuenca del Río Chiquito (El Salto, La Higuera y San Miguel) reciben potabilización en la planta de Santa María, construida en 1945 en la ciudad de Morelia. Su proceso consiste en clari-floculadores, filtros de arena, tanques de sulfato de aluminio y cloración, con capacidad para potabilizar 700 l/s (OOAPAS, 2013).

Con relación a las aguas subterráneas, el principal acuífero es el Morelia-Queréndaro, que se encuentran sobre-explotado por los usos urbanos y agrícolas en la parte media y baja de la cuenca. Según el Diario Oficial de la Federación (8 de julio de 2010), el acuífero presenta un déficit de 6'167,601 $\text{m}^3/\text{año}$.

Tales aguas subterráneas han sido una fuente de abastecimiento para la ciudad desde la década de 1980 a la fecha, ya que el aprovechamiento

de las fuentes superficiales es cercano a 100%. Esto explica la perforación de casi una centena de pozos profundos en la ciudad, que llegan a tener de 50 a 250 m de profundidad y sólo algunos reciben potabilización por medio de cloración. De acuerdo con el OOAPAS, las asignaciones que la CONAGUA ha otorgado a la ciudad, le permiten extraer 35 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ de agua (OOAPAS, 2013); sin embargo, muchos pozos se han abatido por sobre-explotación del acuífero y han generado problemas de subsidencia y fracturación del subsuelo de la ciudad (Ávila-Olivera y Garduño-Monroy, 2006). Además hay afectaciones en la calidad del agua por infiltración y contaminación del acuífero, a través de las fracturas donde se vierten lixiviados (tiradero de basura) y descargas no puntuales.

En conjunto la disponibilidad de agua superficial (56 millones $\text{m}^3/\text{año}$, 61% del total) y subterránea (35 millones de $\text{m}^3/\text{año}$, 39% del total) en la ciudad es cercana a 90 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ para satisfacer los usos público-urbano, servicios y doméstico (Cuadros 1 y 2). Otras actividades relevantes son la industria que tiene sus propias fuentes de abastecimiento (concesiones federales) para el uso de manantiales y pozos profundos (casi 25 millones de $\text{m}^3/\text{año}$). Aquí destaca el caso de la industria papelera Kimberly Clark de México, Planta Morelia, que consume alrededor de 22 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ (88% del total del agua de la industria y 25% del total para uso público-urbano) y se ubica en la parte media de la cuenca, al suroeste de la ciudad, justo a un lado del Río Grande y el manantial de la Mintzita (CONAGUA-REPDA, 2013).

De los casi 90 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ que consume la ciudad (usos público-urbano, doméstico y servicios), se generan 65 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ de agua residual. De los cuales, 45 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ se captan de la red de drenaje y colectores de la ciudad y se tratan en

las dos plantas de tratamiento de Atapaneo (35 millones de m³/año) e Itzicuaró (9 millones de m³/año); y 20 millones de m³/año son vertidos directamente (sin tratamiento) a los ríos Grande y Chiquito de Morelia (Quiahua, 2016). Aproximadamente 21 millones de m³/año no son tratados por el OOAPAS, lo que representa 32% de agua residual de origen público-urbano, doméstico y servicios. Esto es sin considerar los desechos de origen industrial que se vierten con nulo o parcial tratamiento al Río Grande.

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

Cuadro 2. Aprovechamiento del agua por sectores en el municipio de Morelia
Elaboración propia con base en CONAGUA-REPDA (2013).

La contaminación de ambos ríos, que atraviesan la ciudad, afecta sin duda la imagen urbana, las condiciones sanitarias de la población que habita en sus cercanías y a los ecosistemas riparios y lacustres. De ser las fuentes históricas de abastecimiento de agua, han pasado a ser las cloacas de la ciudad y los receptores de todo tipo de basura y desechos sólidos. En particular en el periodo de lluvias la situación se vuelve crítica pues en varios tramos los ríos se desbordan e inundan colonias enteras. Esto las expone a mayor riesgo sanitario al mezclarse las aguas residuales con el agua de lluvia y atrofiarse la red de drenaje.

Desde los años ochenta hubo intentos, en la gestión de Cuauhtémoc Cárdenas como Gobernador de Michoacán, por construir una planta de tratamiento de agua residual en la ciudad, pero la obra quedó inconclusa por fallas técnicas de diseño. Incluso en la década de 1990 hubo conflictos y movilizaciones sociales de campesinos y pescadores para exigir el saneamiento del Río Grande y la construcción de una planta, sin mayores resultados (Ávila, 2007).

Fue hasta el año 2007 que se concretó e inauguró la primera planta de tratamiento en los márgenes del Río Grande, justo aguas abajo de las descargas de la Ciudad Industrial de Morelia, en la localidad de Atapaneo. Dicha planta se equipó con un sistema de tratamiento biológico por lodos activados, que incluyó un sedimentador primario y secundario, filtros, reactores biológicos, unidades de desinfección y unidades de recirculación. Su capacidad de tratamiento es de 1200-2160 l/s, pero en los hechos opera a una menor capacidad: 1100 l/s durante 24 hr/día los 365 días/año (Quiahua, 2016). Es decir, trata alrededor de 35 millones de m³/año, lo que representa 54% del total generado en la ciudad (usos público-urbano, doméstico y servicios, 65 millones m³/año).

Cabe señalar que en 2013 se inauguró una nueva planta de tratamiento, cercana a la industria papelera, en la zona de los Itzícuaros, con el fin de tratar las aguas del poniente de la ciudad. La capacidad media es de 200 l/s, lo que representa un volumen de agua tratada de 6 millones de m³/año (en el supuesto de que trabajara 24 horas al día durante todo el año), y equivale a 9% del total generado por usos público-urbano, doméstico y servicios. Su sistema de tratamiento es biológico con lodos activados y un pulimento final de micro filtración y desinfección. Sin embargo, su objetivo no es sanear el Río Grande, sino intercambiar agua tratada por agua limpia con la industria. Aspecto que hasta la fecha no se ha logrado.

Por su parte, la industria (fundamentalmente la empresa papelera) genera un caudal de aguas residuales de 10 millones de m³/año, las cuales tienen un parcial tratamiento al depositarse al Río Grande de Morelia. El problema es que tales descargas son altamente contaminantes por las sustancias tóxicas que generan en los procesos de producción de celulosa y papel, que afectan a los cuerpos receptores de agua y ecosistemas riparios y lacustres (Pérez et al., 1997; Metcalfy, 1998).

El proceso de saneamiento de estas aguas (provenientes de la industria papelera) incluye áreas de floculación y lagunas de aireación, lo cual permite cumplir parcialmente con algunos de los parámetros fijados para la descarga de agua de origen industrial y condiciones particulares para la industria papelera (como la relación de adsorción de sodio, que es incumplido por la industria al rebasar los máximos permisibles por la Norma Ambiental). Otros parámetros, como compuestos organoclorados y metales pesados, no son medidos ni considerados a pesar de su alto impacto en la contaminación de los cuerpos de agua receptores, como el Río Grande de Morelia (Ávila, 2007; Díaz, 2013).

De esta manera, el agua residual de la industria papelera (10 millones de m³/año) va directamente al Río Grande mezclándose con el agua limpia que proviene de la Presa Cointzio para el distrito de riego Morelia-Queréndaro (48 millones m³/año para regar 8,000 ha). Más adelante, el Río Grande se une con el Río Chiquito y se mezcla con el agua residual de la ciudad de Morelia (usos público-urbano, doméstico y servicios) que no es captada en la red de drenaje (20 millones de m³/año), y con otros usos (agrícola, pecuario, múltiple, 20 millones de m³/año). Luego, una parte del agua residual de la ciudad (uso público-urbano, doméstico y servicios) que es colectada por la red de drenaje, se trata en las plantas de tratamiento de los Itzícuaros (9 millones de m³/año) y Atapaneo (35 millones de m³/año), lo que representa un volumen tratado de 44 millones de m³/año (equivalente a 67% del total de usos público-urbano, doméstico y servicios), el cual es vertido directamente al Río Grande para sanearlo y alimentar al distrito de riego y lago de Cuitzeo (Cuadro 3). Esto claro, en el supuesto que trabajaran óptimamente las dos plantas, durante todo el año y las 24 horas del día.

Usos de Agua	Agua concesionada por sector (m³/año)	Aguas residuales generadas por sector (m³/año)	Aguas tratadas por sector (m³/año)
<i>Uso público-urbano doméstico y servicios</i>	89´763,009	65´000,000	44´000,000
<i>Otros usos (agrícola, pecuario, multiple, industrias menores)</i>	32´682,402	20´000,000	--
<i>Uso industrial (solo papelera)</i>	22´075,200	10´000,000	--
<i>Total</i>	144´520,611	95´000,000	44´000,000

Cuadro 3. Consumo de agua por sector (público urbano, otros sectores e industria papelera) y generación de aguas residuales en municipio de Morelia. Elaboración propia con base en Cuadro 2 y Quiahua (2006).

De acuerdo a los responsables del saneamiento de las aguas residuales en el municipio (OOAPAS), las razones principales por lo que no se trata 100% del agua residual de la ciudad de Morelia es por la alta inversión económica que se requiere para la construcción de una red de plantas de tratamiento. Además de que su operación y mantenimiento conllevaría costos que elevarían las tarifas bimestrales por consumo de agua de los usuarios en el rubro de saneamiento. Esta situación se asocia además con una razón política de fondo para no sanear el agua: el gobierno municipal no tiene interés en generar conflictos sociales con sus clientelas político-electorales, ya que un aumento de tarifas de agua podría generar movilizaciones y presiones políticas.

Como el total de agua residual tratada y no tratada se desecha directamente al Río Grande (95 millones de m³/año), el ayuntamiento hace un saneamiento parcial de las aguas residuales de origen público-urbano, doméstico y servicios (44 millones de m³/año). Sin embargo ese caudal tratado representa 46% del total de las aguas residuales que se generan en la ciudad, ya que el restante 54% recibe nulo o parcial tratamiento por parte de la industria (principalmente papelera) y otros usos en su entorno periurbano (parte media de la cuenca).

En consecuencia, con la construcción y operación de las dos plantas de tratamiento de Morelia no hay un mejoramiento en la calidad del agua del Río Grande, ya que los usos público-urbano, doméstico y servicios no son la única fuente de contaminación. Los otros usos del agua reciben un nulo o parcial tratamiento, y su impacto en la contaminación del agua es mayor por el tipo de residuos que contienen (industria, principalmente) y el volumen que generan. De allí se explica que no haya habido una reducción en la contaminación del agua en el Río Grande y las restricciones sanitarias se mantengan para los agricultores

del distrito de riego 020 (que es alimentado con estas aguas) y para los pescadores del lago de Cuitzeo. En entrevistas realizadas, en el marco de las reuniones de la Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo, varios de ellos manifestaron que las aguas seguían contaminadas y afectaba sus cultivos y actividad pesquera. De hecho indicaron que la situación era peor, dada la proliferación de fraccionamientos de interés social (conurbación con Morelia), en las inmediaciones del módulo 3 del distrito de riego, donde vierten sin tratamiento sus desechos urbanos.

LOS IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO GRANDE

Varios estudios de la calidad del agua del Río Grande de Morelia demuestran (con base en indicadores físico-químicos y biológicos) cómo se va contaminando y deteriorando ecológicamente a lo largo de su trayectoria en la cuenca del lago de Cuitzeo (CONAGUA, 2013; Mathuriau, 2010a y 2010b). En la salida de la presa de Cointzio el agua del Río Grande es de “buena calidad”, pero pocos kilómetros después, al llegar a la descarga de la industria papelera (entorno periurbano), las condiciones cambian drásticamente y pasa a estar “contaminado”; más adelante, el Río Grande atraviesa la ciudad de Morelia y se une con las aguas del Río Chiquito y otros arroyos que vienen con descargas urbanas (en sentido amplio, es decir, uso público, doméstico, servicios) no canalizadas por la red de colectores; luego, en Ciudad Industrial (que concentra unas cuantas industrias poco consumidoras de agua) se depositan sin tratamiento los desechos industriales al río; más adelante se encuentra la planta de tratamiento de agua residual de Atapaneo, que vierte las descargas tratadas directamente al río para su saneamiento;

en ese punto las aguas del Río Grande se encuentran “fuertemente contaminadas” (Cuadro 4).

A partir de allí, el río Grande sale de la zona urbana y sigue su curso hasta llegar a la presa derivadora “Tirio”, que distribuye el agua al módulo 3 (Álvaro Obregón) del distrito de riego Morelia-Queréndaro (número 020), a través del canal de Xoconoles; y otra parte del caudal se va por el cauce rectificado del mismo río que desemboca en el lago de Cuitzeo. Justo allí la condición del río es “contaminado” (cuadro 4).

Sitio	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Calidad del agua
<i>Presa Cointzio</i>	<i>1.4</i>	<i>3.0</i>	<i>Buena</i>
<i>Puente Frijolar (descarga industrial papeleras)</i>	<i>50.0</i>	<i>81.0</i>	<i>Contaminada</i>
<i>Puente La Aldea (descargas urbano-industriales y otros)</i>	<i>77.0</i>	<i>127.0</i>	<i>Fuertemente contaminada</i>
<i>Autopista Occidente (descarga ala lago de Cuitzeo)</i>	<i>50.0</i>	<i>72.0</i>	<i>Contaminada</i>

Cuadro 4. Calidad del agua del Rio Grande en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno (2011-2012). Elaboración propia con datos de CONAGUA (2013).

El estudio de Díaz (2013) sobre la calidad de agua y sedimentos del Río Grande muestran altas concentraciones de sales (SO₄, CO₃, HCO₃) y presencia de metales pesados como: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Planta (Ag) y Arsénico (As). De los cuales Fe y Zn tienen las concentraciones más altas. Tales parámetros muestran los niveles de contaminación del río,

que no son considerados en la normatividad ambiental para evaluar la calidad de las aguas residuales de origen urbano e industrial.

Con los altos niveles de contaminación del agua, la capacidad de autorregulación biológica del Río Grande se ha perdido, así como la fauna que otrora habitaba sus corrientes: los peces y anfibios. El deterioro ecológico es evidente desde el punto de descarga de la industria papeleras, en la zona periurbana de Morelia. Según un estudio realizado en el Río Grande, se encontró que su capacidad de asimilación y dilución había sido rebasada por la elevada concentración de contaminantes biológicos y químicos (Mejía, 1987).

Como el agua del Río Grande está muy contaminada, no es permitido su uso para el riego de cultivos de consumo directo, por lo que desde la década de 1990 hay restricciones sanitarias severas para los agricultores del distrito de riego; así como para los pescadores en cuanto a la comercialización de sus productos. Ello afecta grandemente la reproducción social y los ingresos de las familias en la parte baja de la cuenca, ya que sus actividades productivas primarias se ven afectadas y limitadas por la contaminación del agua originada en la ciudad de Morelia e industrias que allí se asientan (Ávila, 2007).

Es importante señalar que el saneamiento del Río Grande podría ser prácticamente nulo de realizarse la venta de agua en bloque (volumen de agua tratada, que es canalizada por tubería y desviada) de la planta de tratamiento de Atapaneo hacia otros usos como el riego de cultivos y campos de golf. De hecho, los gerentes del OOPAS en diferentes momentos han señalado lo absurdo (desde su punto de vista) que es sanear el agua y mezclarla al río contaminado. En el caso de la planta de los Itzícuaros el objetivo fue claramente manifiesto desde que se

proyectó su construcción: intercambiar agua limpia de la industria papelera por la tratada en la planta.¹ Sin embargo, este objetivo no es claro si se ha logrado o está sólo como intención. La concesión del agua limpia a la papelera sigue vigente, y como se recordará, representa 25% del agua que consume la ciudad para uso urbano.

De acuerdo con comentarios de un ex Secretario de Urbanismo y Medio Ambiente en el estado de Michoacán, se especula que hay una venta ilegal de agua en la planta de tratamiento de Atapaneo (por medio de ductos clandestinos) para el riego del campo de golf de Tres Marías. Este campo se ubica a menos de 4 km de la planta y fue construido más o menos en el mismo periodo (entre 2000-2007) por un grupo de poder local altamente influyente en la ciudad: Organización Ramírez. La calidad del agua tratada en la planta está por encima de la norma de saneamiento de aguas residuales de origen urbano. Es decir, el agua sale de la planta con una mejor calidad a la exigida por la Comisión Nacional del Agua para su disposición final en cuerpos receptores (ríos). Además de que tiene la calidad que exige la norma para el riego de campos de golf.

Esto cobra sentido si se hace un poco de historia. Desde principios de los años noventa había la petición y presión de los agricultores y pescadores

para que se construyera una planta de tratamiento en Morelia, por las afectaciones que tenían en sus cultivos y pesca. Pero las autoridades de los tres niveles de gobierno sólo hicieron promesas para calmar los ánimos, sobre todo en periodos de campaña política. Para justificar su inacción en la materia argumentaron la falta de recursos económicos para financiar una obra tan costosa (Ávila, 2007).

No obstante, una década después comenzó la construcción de la planta de tratamiento, de manera coincidente con la creación del complejo inmobiliario Tres Marías que incluía campos de golf en una zona árida, sin agua, al noreste de Morelia. En uno de los módulos de promoción inmobiliaria (Plaza Morelia), los vendedores señalaban que el agua tratada serviría para el riego de sus campos de golf. Incluso el entonces responsable del OOAPAS de Morelia, Juan Luis Calderón (hermano de ex-Presidente de la República) señaló públicamente, en una reunión de la Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo, sobre la conveniencia de vender el agua en bloque y evitar el absurdo de mezclar el agua tratada al Río Grande.

Aunque no hay evidencias de que esos desvíos de agua se estén realizando, existe un proyecto de acueducto para su aprovechamiento, como el de los agricultores de Álvaro Obregón, que buscan usar las aguas tratadas para el riego de sus cultivos a través de la construcción de un ducto desde la planta de tratamiento hasta sus parcelas. Tal iniciativa ha sido encabezada por un diputado local junto con varios agricultores del distrito de riego, y fue expuesta en una sesión de la Comisión de Cuenca en 2015 con el fin de buscar apoyos del gobierno estatal, sin embargo, hasta la fecha está detenida por falta de recursos económicos y voluntad política para favorecer a los agricultores

1 | El entonces alcalde de Morelia, Wilfrido Lázaro, señaló: “con la puesta en marcha de la Planta Tratadora de los Itzicuaros, localizada en la zona poniente de Morelia, se liberará agua de primer uso, que antes usaba la empresa papelera y que se intercambiará por agua residual tratada con una calidad suficiente. Con este intercambio se logrará recuperar hasta 350 litros por segundo de agua del manantial La Mintzita, los cuales serán destinadas al suministro de agua potable en la capital michoacana.” (Inauguran planta de tratamiento de aguas residuales en los Itzicuaros, A tiempo, 5 diciembre 2013), [<http://www.atiempo.mx/estado/inauguran-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-los-itzicuaros/> Ultimo accesos febrero 2020].

LOS PROBLEMAS ASOCIADOS CON LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL DE URUÉTARO

Uruétaro es una localidad rural del municipio de Tarímbaro con 2,519 habitantes (INEGI, 2010), ubicada en el módulo 3 del distrito de riego Morelia-Queréndaro, que se irriga con las aguas provenientes de la Presa de Cointzio y el Río Grande de Morelia. Un canal de riego denominado “Xoconoles” pasa por la comunidad y sus aguas contaminadas provocan malestares en la población y la proliferación de mosquitos y moscas durante todo el año. De acuerdo con un campesino, hace cerca de 40 años el agua de ese canal se encontraba en buenas condiciones y la población la usaba para lavar, bañarse e incluso pescar.

Anteriormente en el canal podíamos pescar, sacar pescados, se podía ver algunas ranas, culebritas, aves. En esa agua toda la comunidad hacia 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).

Sin embargo, conforme fue creciendo la ciudad de Morelia y se fueron asentando industrias, la calidad del agua cambió hasta llegar al punto de que ya no pudo aprovecharse por sus altos niveles de contaminación. Hoy día el canal es visto como un foco de enfermedades:

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 duré tres meses con la herida que no quería sanar, después ya sanó, pero no muy bien, quedó una cicatriz muy marcada. (Rafael B. Vecino de Uruétaro, Marzo 2013).

Algunas señoras de la comunidad expresaron que hay problemas de salud por vivir cerca del canal, quejándose de los olores desagradables que emana. Una de ellas comentó:

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 Uruétaro, Marzo 2013)

Además, comentaron que son frecuentes los problemas de diarrea y las infecciones en la piel por el contacto que tienen con el agua contaminada. Incluso consideran que los pozos o norias donde extraen agua para su consumo están contaminados, ya que están muy cerca del canal, por lo que tienen que comprar agua de garrafón. Los animales no tienen más opción de abastecimiento y consumen de esa agua:

Algunos pozos de los que tomamos 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 hervirla. 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 Uruétaro, Marzo 2013).

Ante la problemática, los habitantes han tratado de organizarse para gestionar ante las instancias correspondientes ayuda y asesoramiento para combatir la contaminación. De acuerdo con un comunero han ido a las dependencias federales y estatales de salud para que los ayuden, sin que hayan obtenido respuesta efectiva.

Hemos pedido a Salubridad por medio del jefe de tenencia que hagan algo para limpiar ese canal y que nos den medicina para curarnos

del agua sucia, pero hasta la fecha seguimos esperando. (Rafael B. Vecino de Uruétaro, Marzo 2013).

LAS AFECTACIONES A LOS AGRICULTORES DEL MÓDULO III DEL DISTRITO DE RIEGO 020

Testimonios recogidos de los agricultores muestran el deterioro de las tierras de cultivo que son irrigadas con las aguas residuales de Morelia, específicamente del módulo III de Álvaro Obregón. De acuerdo con una pareja de agricultores, hace más de 40 años, regaban sus parcelas con aguas de la presa Cointzio, que venía con un color café característico (suelo charandoso) pero estaban limpias. Incluso las usaban para consumo humano:

Hace algunos años el agua que llegaba por los canales de riego era de la presa Cointzio, sus aguas eran charandosas 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, Marzo 2013).

Con el paso de los años, la calidad del agua fue cambiando, ya que aumentaron los desechos urbanos e industriales provenientes de Morelia y contaminaron al río Grande que alimenta el distrito de riego y lago de Cuitzeo.

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 había ningún problema. Con esa agua para el riego nos bañábamos, hasta la tomábamos para la sed. (María M. Vecina de Charo, Marzo 2013).

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

De acuerdo con Romero (1998) las aguas que se utilizan en el módulo III se clasifican de tipo IV (contaminada) y está prohibido el cultivo de hortalizas y verduras. Sólo se permite cultivos forrajeros o que no sean de consumo directo en sus tierras como trigo, maíz, sorgo, alfalfa y avena. Las hortalizas, que tienen mayor valor comercial, se siembran de forma clandestina y es difícil obtener información estadística (Ávila, 2007). Al respecto, un campesino 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 desde hace 40 años. Señalan además, que Morelia no hace nada para ayudar a un sector tan importante como el agrícola, por el contrario continua creciendo y generando cada vez más aguas residuales sin tratamiento.

La opinión de los agricultores, funcionarios públicos del municipio de Álvaro Obregón y personal administrativo del módulo III es, que la contaminación del agua tenderá a agravarse con el tiempo, ya que se han asentado nuevos fraccionamientos en el municipio de Tarímbaro, justo por donde va el canal de Xoconoles. Esto como parte de la

expansión urbana de Morelia hacia municipios vecinos.

Ellos tienen claro de que sus actividades agrícolas generan desechos (descargas no puntuales) que se van por los drenes o infiltran en el subsuelo (fertilizantes químicos y pesticidas), lo que contribuye también a la degradación de la calidad del agua que llega al lago y afectan actividades como la pesca; sin embargo reconocen que el impacto mayor proviene de los desechos de la ciudad e industria papelera. Incluso un agricultor señala que esa agua no es apta ni para el consumo de los animales:

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).

LOS PESCADORES DEL LAGO DE CUITZEO

Testimonios recogidos de los agricultores muestran el deterioro de las tierras de cultivo que son irrigadas con las aguas residuales de Morelia, específicamente del módulo III de Álvaro Obregón. De acuerdo con una pareja de agricultores, hace más de 40 años, regaban sus parcelas con aguas de la presa Cointzio, que venía con un color café característico (suelo charandoso) pero estaban limpias. Incluso las usaban para consumo humano:

Todos los escurrimientos superficiales de la cuenca llegan al lago de Cuitzeo, como los ríos Grande y Queréndaro, y las descargas agrícolas del distrito de riego Morelia-Queréndaro, sin embargo, también recibe las aguas residuales de los municipios de Álvaro Obregón, Zinapécuaro, Santa Ana Maya, Huandacareo, Cuitzeo y Chuncándiro.

En este sentido, el lago es el espejo de todo el manejo inadecuado del agua, bosques y suelos en la cuenca. Además de todas las obras hidráulicas (drenes, canales y compuertas para desecarlo) e infraestructura vial (carreteras y autopistas) que han afectado el flujo natural del agua y al propio lago al desecarlo en su lado poniente. De allí que el lago se encuentre en un franco deterioro ecológico.

Una parte de la población de los municipios ribereños del lago de Cuitzeo se dedica a actividades pesqueras y se agrupan en 31 organizaciones con más de 1,600 pescadores, reconocidas oficialmente. En general, los pescadores son los campesinos sin tierra, cuya única opción es aprovechar el lago para obtener alimento e ingresos mínimos para subsistir.

Con el fin de conocer la problemática del sector pesquero, 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.

La actividad pesquera de estas comunidades se basa en la extracción de charales, chehuas, ranas toro y carpas, principalmente. Los pescadores señalan que su sector también padece la crisis generada por la contaminación del agua del Río Grande como lo describe uno de ellos:

El lago siempre ha tenido ese color, desde que recuerdo hace 40 o 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).

Los pescadores relacionan el estado del lago con la calidad de vida que tienen. Para ellos 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.

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. (Líder de pescadores en Chehuayito, Marzo 2013).

Ante el deterioro ecológico del lago, los pescadores realizan otras estrategias para asegurar el sustento de sus familias. La migración es una de ellas: se van en busca de empleo hacia las ciudades aledañas (como Morelia, Guadalajara o México) o al extranjero (Estados Unidos de América). También se emplean como jornaleros en la agricultura comercial de la región.

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 Estados Unidos. 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 intentan sobrevivir con una actividad otrora fuente de alimento e ingreso para sus familias, planteando proyectos al gobierno para eliminar la vegetación acuática que les impide penetrar al lago con sus lanchas o canoas.

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. (Líder de pescadores en Chehuayito, Marzo 2013).

REFLEXIONES FINALES

En la medida en que la población y las actividades económicas se han concentrado en las ciudades, la demanda de agua superficial y subterránea ha aumentado. Lo mismo ocurre con las descargas de agua residual que se vierten con nulo o parcial tratamiento a los ríos, humedales y mares. Los problemas asociados con el deterioro de los sistemas hídricos, tanto por extracción y aprovechamiento como por contaminación, afectan a la mayor parte de los centros urbanos y sus áreas de influencia en el mundo (Antón, 1996). Es decir, el manejo del agua en las ciudades tienen un impacto socio-ambiental en el territorio en dos sentidos: por la cantidad y calidad del agua que demandan de los ecosistemas; y por la disposición final de sus descargas de agua residual que afectan las condiciones de salud de la población y deterioran la base productiva y natural (Ávila, 2008).

Desde esta perspectiva, la relación agua-ciudad puede ser analizada como un metabolismo urbano. La ciudad intercambia agua con su entorno natural y rural, la cual proviene de los bosques en la cuenca alta; y deposita sus desechos en ríos y cuerpos de agua, que se aprovechan

en la cuenca baja. Este modelo permite conocer el manejo del agua a partir de sus flujos: las entradas de agua a través del aprovechamiento de las fuentes superficiales y subterráneas; el procesamiento a través de la distribución y consumo de agua entre los diferentes usuarios (población) y sectores económicos (industriales, domésticos, público, agrícola); y las salidas en forma de aguas residuales o desechos urbanos generados que son depositados (con o sin tratamiento) en los entornos rural y natural con sus respectivos impactos socio-ambientales.

El manejo inadecuado del agua residual en la ciudad de Morelia está asociado con el parcial o nulo tratamiento que reciben las descargas de origen urbano (incluye uso público, doméstico, servicios) e industrial (papelera, principalmente) que conlleva a problemas de contaminación de los ríos Grande y Chiquito (tributario), y contribuyen al deterioro de los entornos natural (ecosistemas ripario y lacustre), productivo (agricultura de riego, ganadería, pesca) y social (población rural) de la cuenca del lago de Cuitzeo.

Las contradicciones campo-ciudad y el dominio de la ciudad e industria se expresan en un manejo insustentable del agua: menos de la mitad de las descargas totales (44 de 95 millones de m³/año) son saneadas y el resto se vierte sin tratamiento al Río Grande. El municipio, a través del OOAPAS, trata parte de las aguas de origen público-urbano, doméstico y servicios (44 de 65 millones de m³/año) con métodos de tratamiento primario y secundario, que permiten cumplir con los parámetros generales fijados por la normatividad vigente. El resto de la descargas urbano-industriales (51 millones de m³/año) no reciben tratamiento o es mínimo como ocurre con la industria papelera, que incumple con las condiciones particulares de descarga (fijadas para esa industria) y otros indicadores no contemplados en la norma, que

son altamente contaminantes (como metales pesados). Tales aguas residuales no tratadas se vierten directamente al Río Grande, con su correspondiente afectación en la calidad del agua y pérdida de su capacidad de autorregulación biológica.

El impacto socioambiental de la contaminación del agua en los entornos productivo, rural y natural de la ciudad de Morelia es evidente. La zona agrícola de riego, que corresponde al entorno productivo o módulo 3 del Distrito de Riego 020, utiliza el agua proveniente de la presa de Cointzio y las aguas residuales de origen urbano-industrial para el riego de 8,000 ha. Esto afecta el tipo de cultivos que pueden sembrar, dadas las restricciones sanitarias y las condiciones mismas de los agricultores al manipular agua contaminada. Las localidades rurales y peri-urbanas que se asientan en las inmediaciones del canal Xoconoles y el cauce rectificado del Río Grande, que es considerado el entorno rural, presentan problemas sanitarios por la exposición directa al agua contaminada (plagas de mosquitos, contaminación de sus pozos de agua, desbordamiento de canales). El lago de Cuitzeo y el cauce del Río Grande corresponden al entorno natural; ambos se encuentran en franco deterioro por la contaminación del agua, lo que afecta las formas de vida (animal y vegetal) existentes en los ecosistemas riparios y lacustres.

Estos entornos (productivo, rural y natural) se ubican en la parte baja de la cuenca, que es donde se documentaron los impactos socio-ambientales de la contaminación del agua, a partir de las opiniones y percepciones de los pobladores rurales, agricultores y pescadores. Todos coinciden en que el cambio en la calidad del agua del Río Grande y su correspondiente contaminación, se percibió de manera más clara en la década de 1980, que corresponde a la expansión urbana e

industrial. Sin embargo, a pesar de la exigencia desde los noventa para el cierre de la industria papelerera y la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en Morelia, casi 20 años después se hizo la primera en las cercanías del campo de golf Tres Marías, donde se presume hay venta ilegal de agua. Los resultados en el saneamiento del Río Grande no son percibidos por los actores locales de la parte baja de la cuenca, que son los principales afectados por la contaminación: las restricciones sanitarias siguen tanto para la agricultura como para la pesca y las condiciones sanitarias no mejoran para los habitantes rurales que se ubican en las cercanías del río y canales del distrito de riego. Tal situación se puede tornar aún más grave en los próximos años, como bien señalan los pobladores, por la expansión urbana de Morelia hacia esa zona. Además puede influir de manera dramática, el crecimiento de la capacidad productiva de la industria papelerera y otras industrias que tienen interés de invertir, justo en la parte baja de la cuenca, gracias a la aprobación en años recientes del programa de zona metropolitana de Morelia.

A manera de corolario, es importante señalar que en junio de 2017 la industria papelerera Kimberly Clark anunció planes de expansión de su planta en Morelia por 250 millones de dólares, lo que implicará mayor demanda de agua y aumento en el volumen de aguas residuales que se verterán al Río Grande, y por ende al distrito de riego. Todo ello será posible con el apoyo de los gobiernos estatal y municipal, que se congratulan por la posibilidad de generar 400 nuevos empleos de esa industria, sin evaluar los costos sociales y ambientales que se generarán en el entorno rural, natural y productivo de la parte baja de la cuenca, aunado a las afectaciones en la calidad de vida de los habitantes de Morelia, donde se asienta la industria. Frente a ello, el panorama de

deterioro ambiental por contaminación de aguas residuales de origen urbano e industrial de Morelia se torna aún más complejo y de difícil de solución para la cuenca del lago de Cuitzeo. Esto implica un nuevo triunfo de la ciudad sobre el campo, donde el poder de una industria papelerera transnacional (Kimberly Clark) se impone sobre los derechos de los habitantes rurales así como de los campesinos y pescadores de la parte baja de la cuenca. A su vez, muestra una relación ciudad-agua cada vez más insustentable, que afecta de manera dramática al Río Grande, lago de Cuitzeo y ecosistemas asociados, al elevar la cantidad de desechos contaminantes en una cuenca cerrada como Cuitzeo, otrora fuente de vida, alimento y cultura.

BIBLIOGRAFÍA

Antón, D. (1996). Ciudades sedientas: agua y ambientes urbanos en América Latina, UNESCO-CIID, Ottawa.

Ávila, P. (2007). Agua, ciudad y medio ambiente: una visión histórica de Morelia, UNAM, SEDESOL, Ayuntamiento de Morelia, México.

----- (2008). “Vulnerabilidad sociambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México”: Ciencias, 90, pp. 46-57.

Ávila-Olivera, J. A., Garduño-Monroy, V. H. (2006). “Hundimientos ocasionados por Procesos de Subsistencia-Creep-Falla (PSCF) en la ciudad de Morelia, Mich., México”: Geotermia, vol. 19 (2), pp. 50-59.

CONAGUA (2013) Indicadores de la calidad del agua, Comisión Nacional del Agua

CONAGUA-REPDA (2013) Registro Público de Derechos del Agua

Díaz, L. S. (2013). Evaluación de la calidad en agua y sedimentos del Río Grande

de Morelia, Michoacán, Tesis de Maestría en ingeniería ambiental, Facultad de Biología: UMSNH.

Dinares, M. (2014). "Urban Metabolism: A review of recent literature on the subject": Documents d'Anàlisi Geogràfica, vol. 60 (3), pp. 551-571.

García, R. (2006). Sistemas Complejos; Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria, Gedisa, Barcelona.

INEGI (2010). Censo de población y vivienda 2010.

Kennedy, C., Cuddihy, J., Engel-Yan, J. (2007). "The Changing Metabolism of Cities": Journal of Industrial Ecology, vol 11 (2), pp. 43-59.

Martínez, T. M. et al. (1991). Impacto que causan las aguas del Río Grande de Morelia en el Distrito de Riego del Valle Morelia Queréndaro, UMSNH, Michoacán.

Mathuriau, C., Herrerón Escutia, S., Rangel Camarena, J. (2010a). "Evaluación de la calidad del agua de los ríos con DQO y DBO5": Cram, S., Galicia, L., Israde-Alcántara, I. (Eds.) Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio-ambiental, UNAM:IG, UMSNH, pp. 206-209.

Mathuriau, C., Herrerón Escutia, S. (2010b). "Insectos acuáticos de los ríos": Cram, S., Galicia, L., Israde-Alcántara, I. (Eds.). Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio-ambiental, UNAM:IG, UMSNH, pp. 88-91.

Mejía, M. (Coord) (1987). Estudio de calidad del agua del río Grande de Morelia, SARH, México.

Metcalfy, E. (1998). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill.

OOAPAS (2013). Información solicitada al departamento de acceso a la

Información, OOAPAS, Morelia.

Pérez, M. et al. (1997). "Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents by TiO₂ photocatalyzed oxidation": Journal Photochemistry and Photobiology, 109, pp. 281-286.

Quiahua, G. (2016). Manejo de aguas residuales de Morelia y su impacto socioambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo, Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, UNAM.

Romero Peñaloza, J. (1998). Agricultura, regiones y deterioro de recursos naturales en Michoacán: situación actual y retos, Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Occidente, Morelia.

Swyngedouw, E. (2004). Social Power and the Urbanization of Water: Flows of Power. Oxford University Pres, Oxford.

Wolman, A. (1965). "The metabolism of cities": Scientific American, vol. 213 (3), pp. 179-190.