

Estudios Michoacanos XIV

Octavio Augusto Montes Vega
Octavio Martín González Santana
Editores



El Colegio de Michoacán

ESTUDIOS MICHOACANOS XIV

Octavio Augusto Montes Vega
Octavio Martín González Santana
Editores



El Colegio de Michoacán

ÍNDICE

Presentación	9
Lucha cívica católica y formación del Estado en Tiríndaro, Michoacán, 1920-1950 <i>Jesús Solís Cruz</i>	17
Mujeres sinarquistas en Michoacán (1937-1950) <i>Roxana Rodríguez Bravo</i>	49
De la <i>Rerum Novarum</i> a la nueva Ley General de Cooperativas (Cooperativismo en Michoacán y el caso de una sociedad cooperativa textil en La Piedad) <i>Octavio A. Montes Vega</i> <i>Jorge Dolores Bautista</i>	77
Los santos son del pueblo. Relaciones de poder y uso de imágenes religiosas en el catolicismo popular de Sahuayo y Jiquilpan, Michoacán <i>Pedro J. Chalé Solís</i>	109
Monumentalidad, símbolo y arquitectura neogótica. El santuario guadalupano de Zamora, Michoacán <i>Martín M. Checa Artasu</i>	143
Formas cotidianas del cambio político. Liderazgos locales en un ejido michoacano en el marco de la formación del PRD <i>Eduardo Santiago Nabor</i>	195

Políticas (neo)indigenistas de los gobiernos perredistas en Michoacán. La Ley de Justicia Comunal <i>María del Carmen Ventura Patiño</i>	219
Reorganización territorial y conurbación entre Sahuayo y Jiquilpan, Michoacán <i>Guillermo Paleta Pérez</i>	249
Entre lomeríos y muros de tierra. Algunos efectos de la pequeña irrigación por represas en el Bajío seco michoacano, en el contexto de programas de modernización impulsados por organismos monetarios internacionales <i>Octavio Martín González Santana</i>	269
Procesos territoriales y sociales en la Tierra Caliente de Michoacán en el siglo XX <i>Virginia Thiébaud</i>	297
Gestión y calidad del agua en la cuenca del río Duero, Michoacán <i>José Luis Pimentel Equihua, Martha Alicia Velázquez Machuca, Martín Sánchez Rodríguez, José Luis Seefóo Luján</i>	329
Índice onomástico	347
Índice toponímico	357

GESTIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO DUERO, MICHOACÁN

José Luis Pimentel Equihua^{*}
Martha Alicia Velázquez Machuca^{**}
Martín Sánchez Rodríguez^{***}
José Luis Seefoó Luján^{****}

En el ámbito mundial existe preocupación acerca de los efectos negativos del desarrollo sobre la calidad del agua. La Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (Enero 1992) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Julio 1992) confirmaron la necesidad de proteger la calidad de ese vital líquido para un uso seguro y sostenible de los recursos hídricos (Chanduvi 1998).

Los estudios sobre calidad del agua se iniciaron con el deterioro observado en las fuentes de agua superficial, causado por el aumento en la concentración de algunos componentes físicos, químicos y microbiológicos en las corrientes y sus efectos dañinos en la salud humana y en el desarrollo de la biota acuática; sumado a esto, las observaciones apuntan a que las aguas subterráneas están siendo contaminadas desde la superficie, en algunos casos de manera irreversible.

El hecho de que más de mil millones de personas no tengan acceso a agua potable, la mitad de la población mundial carezca de sistemas de tratamiento que generan problemas de salud y contaminación (Oswald 2006), ilustra la gravedad del problema de la calidad del vital líquido. Este reconocimiento ha abierto una vertiente más en el manejo de los recursos hídricos, la gestión de la calidad, la cual busca el

* Colegio de Postgraduados, jequihua@colpos.mx
.. CIDIIR-IPN-U-MICH, mvelazquezm@ipn.mx
*** El Colegio de Michoacán A.C. mlobo@colmich.edu.mx
**** El Colegio de Michoacán A.C. seefoo@colmich.edu.mx

control de la contaminación con base en el conocimiento de al menos: a) los procesos que intervienen en la generación y evolución en los flujos de sustancias contaminantes, sus efectos en la salud y en el ambiente; b) las políticas y legislación sobre aguas; c) la hidrología y geohidrología, así como protección de las partes altas de las cuencas; d) la gestión del riego por ser el mayor usuario, e) el control de la salinidad, y f) la planificación del uso de los recursos naturales. Los resultados de investigación y la bibliografía que se ha generado sobre el tema, han conducido al conocimiento de causas y al diseño de normas, reglamentos y guías para los efluentes y estándares generales y específicos para el manejo de la calidad del agua (DWAf 1991; Chanduvi 1998; Hattingh and Claasen 2008); sin embargo el recurso continúa sufriendo deterioro cualitativo, poniendo en riesgo sanitario a las poblaciones humanas y a los ecosistemas. En general, se han reconocido como fuentes importantes de contaminantes hídricos el creciente uso urbano del agua, el vertido de los desechos industriales y urbanos a la red hidráulica de riego, la intensa explotación de los acuíferos, la deforestación y las actividades agropecuarias.

En el caso de la cuenca del río Duero, existe demanda de los productores agrícolas para disponer de agua de riego limpia ante las exigencias de inocuidad de frutas y hortalizas en los mercados nacionales e internacionales. Esta demanda ha tenido diferentes respuestas institucionales, entre ellas: estudios de diagnóstico, instalación de plantas de tratamiento, uso de tecnologías de riego presurizado y nuevos diseños organizativos de gestión, como el caso de la Comisión de Cuenca del río Duero, organismo auxiliar del Consejo de cuenca Lerma-Chapala-Santiago; la Comisión de Cuenca integra a representantes de los sectores agrícola, pecuario, industrial, académico-científico, organizaciones ambientalistas y usuarios urbanos; con esto se intenta conformar un foro y espacio de actuación y coordinación para las acciones de saneamiento del río Duero.

Por nuestra parte, como equipo de investigación, hemos coincidido en que la complejidad y dinámica de los procesos antrópicos en la cuenca del río Duero, obliga a un esfuerzo sistemático y sostenido de medición de indicadores, evaluaciones y seguimiento de las acciones para gestionar la cantidad y calidad del agua, de tal manera que en este trabajo, se presentan resultados de tres años de esfuerzo de

investigación con perspectiva multidisciplinaria e interinstitucional; se pretende aportar elementos pertinentes para el análisis y en su caso toma de decisiones en la gestión y calidad de las aguas de la cuenca. Los elementos que se analizan y discuten refieren a los avances en el sistema de monitoreo de la calidad del vital líquido, la infraestructura para el saneamiento, así como las actuaciones sociales e institucionales en relación con el manejo y la calidad de los recursos hídricos.

EL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Duero se localiza en la porción noroeste del estado de Michoacán, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana y cuenta con una extensión territorial de 3 512 km². La corriente principal es el río Duero y las tributarias son los ríos San Pedro, Tlazazalca, Santuario, Camécuaro y Celio, además de numerosos manantiales localizados en la parte alta de la cuenca. En este espacio habitan aproximadamente 628 657 personas (INEGI 2005) distribuidas en unas 54 poblaciones entre las que destacan por su tamaño: Zamora (127 606 habitantes), Jacona (53 860), Purépero (13 733), Tangancícuaro (14 129), Tangamandapio (9 528), Pajacuarán (9 779), Vista Hermosa (9 902), Chilchota (7 206), e Ixtlán (4 458).

METODOLOGÍA

Se realizaron entrevistas a informantes clave (autoridades del agua y líderes de las comunidades) en 12 de los 20 municipios que integran la cuenca: (Chilchota, Tangancícuaro, Purépero, Tlazazalca, Jacona, Zamora, Chavinda, Tangamandapio, Ixtlán, Pajacuarán, Vista Hermosa y Briseñas), con el objetivo de identificar las percepciones sociales acerca de la problemática del agua, las acciones realizadas y las propuestas para el control de la contaminación; asimismo mediante recorridos de campo se observaron efectos visibles de la contaminación hídrica y se tomaron muestras del vital líquido para practicarles análisis físico-químicos, tanto de las corrientes superficiales como de las aguas subterráneas; revisión de bibliografía sobre el tema y elaboración de mapas digitales, completaron la información generada.

Para integrar la perspectiva multidisciplinaria se organizaron reuniones de trabajo y foros de discusión con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de Michoacán, el Colegio de Postgraduados, el CIIDIR-IPN, el Consejo Estatal de la Fresa, A.C., y organizaciones ambientalistas como Medio Ambiente Zamorano, A.C.; esta dinámica permitió un análisis pluriepistemológico, el cual potencializó las visiones de lo que ocurre alrededor de la gestión y calidad del agua de la cuenca del Duero.

LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO DUERO

Los recursos hídricos superficiales en la cuenca están constituidos principalmente por los ríos Duero y Tlazazalca, ambos alimentados por numerosos manantiales. Este último es represado en el embalse de Urepetiro, adonde confluyen las aguas de manantiales locales, aguas broncas y drenajes domésticos de las poblaciones de Tlazazalca y Purépero. Numerosos manantiales localizados en la parte alta y media de la cuenca, alimentan de manera perenne al río Duero agregándose aguas residuales domésticas de la región y los drenajes agrícolas. Todos estos flujos mantienen en el río Duero un caudal anual medio de 390.364 hectómetros cúbicos (hm^3) o millones de metros cúbicos (promedio de los años 1973-2006), con un mínimo registrado de 288.02 hm^3 de acuerdo con los datos registrados en la estación hidrométrica “Las Adjuntas” (Pimentel y Velázquez 2008).

En relación con las aguas subterráneas, la Comisión Nacional del Agua (Conagua 2002a) ha calculado una recarga anual de 308 hm^3 en el acuífero “Zamora”. En el balance hidrológico se señala que de este acuífero se encuentran concesionados 77.59 hm^3 y lo clasifican como “sub-explotado”, con posibilidades de extraer unos 50.73 hm^3 adicionales.

USOS PRIORITARIOS DEL AGUA Y LA GESTIÓN DE SU CALIDAD

De los 20 municipios que integran la cuenca, 12 de ellos están incluidos en su mayor proporción en el polígono: Chilchota, Tangancicuaro,

Purépero, Tlazazalca, Zamora, Jacona, Chavinda, Tangamandapio, Ixtlán, Pajacuarán, Vista Hermosa y Briseñas; la población de estos municipios asciende a 405 255 personas (INEGI 2005). El área más densamente poblada corresponde a la conurbación Zamora-Jacona donde se ha calculado que el consumo medio de agua per cápita es de 107.4 l/día, con extremos de 71 y 198 l/día (Seefoó 2005). Con esto, los requerimientos medios anuales de agua de uso doméstico en los 12 principales municipios de la cuenca son de 15.79 hm³, necesidades que pueden fácilmente ser satisfechas con los flujos de los manantiales existentes en la zona. El cuadro 1 muestra algunos de los pozos y caudales concesionados para uso público urbano y doméstico en ocho de los municipios, así como los principales manantiales registrados. Con excepción de la Cañada de los Once Pueblos, en el municipio de Chilchota, donde se encuentra el mayor número de manantiales (cuadro 1), las necesidades de agua para consumo humano se satisfacen con aprovechamientos subterráneos.

De manera general, los manantiales ubicados en la porción alta y media de la cuenca descargan un volumen anual medio de 275 hm³ (Conagua 2002a) y mantienen una corriente perenne en el río Duero. Sin embargo, estos flujos se encuentran concesionados para distintos usuarios, en especial el agrícola. Los conflictos por las asignaciones se han agudizado en los últimos años debido al reclamo de algunos ayuntamientos –Zamora, especialmente– de querer usar el agua de los manantiales en las ciudades, proponiendo incluso comprar flujos a los municipios que cuentan con el recurso como es el caso de Tangancícuaro y Jacona. La oposición de los usuarios agrícolas ha impedido que se concreten estas peticiones.

Por otro lado, la normativa en materia de calidad de agua para uso y consumo humano se basa fundamentalmente en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994; ésta marca los estándares que debe cumplir una fuente de agua para ser usada en el consumo humano en 41 variables químicas, tres organolépticas y dos bacteriológicas.

Cuadro 1. Fuentes de abastecimiento de agua subterránea en la cuenca del río Duero

Municipio	Pozo profundo		Manantiales	
	Núm.	Caudal m ³ /año	Núm.	Caudal m ³ /año
Zamora	39	5 085 455.3	1 ^a	3 626 640.0
Chavinda	6	978 437.25		
Jacona	7	562 134.50	1 ^b	473 040.0
Purépero	1	191 625.0		
Tangamandapio	5	755 988.0		
Tangancicuaro	8	722 718.25	1 ^c	28 130 112
Tlazazalca	9	361 513.25		
Chilchota			15 ^d	
Total	75	6 925 674.80		32 229 792.0

^a El manantial El Bosque. Zamora, con 115 l/s asignados (Valadez, 1991).

^b Manantial El Bosque, con 15 l/s asignados a Jacona.

^c El manantial Cupátziro, con 892 l/s.

^d Manantiales en Carapan (Ostácuaro, Cuinio, Ech'ongaricho), Tanaquillo, Chilchota, Acachuen, Urén, Los Nogales de los cuales no se tienen datos de caudales.

La aplicación de medidas para la calidad del agua destinada a uso y consumo humano es responsabilidad de los organismos operadores de agua municipales, los cuales se supone que vigilan la aplicación de la normativa y llevan a cabo ciertas medidas para que los efluentes cumplan los estándares sanitarios. En el caso de la ciudad de Zamora, de acuerdo con información de autoridades del agua, los análisis químicos que se practican incluyen variables como el pH, sales, alcalinidad total; la prevención de la contaminación bacteriológica se lleva a cabo con la aplicación de cloro al agua para la desinfección, medida que es vigilada por la Secretaría de Salud mediante un análisis periódico de cloro residual; sin embargo, no se practican análisis referentes a otros contaminantes como metales pesados. En el caso del vital líquido para consumo humano en algunas comunidades rurales, los análisis son poco frecuentes y la aplicación de cloro es eventual.

De acuerdo con los análisis realizados en este trabajo, en algunas de las colonias de Zamora (Fraccionamiento Valencia, Linda Vista, Arboledas) el agua utilizada en los hogares no es apta para uso y consumo humano, por la cantidad de materiales orgánicos suspendidos y el olor característico de aguas anaerobias; los datos de profundidad de

los pozos que abastecen estas colonias señalan que se perforaron dentro del llamado “acuífero somero”, con una profundidad que no sobrepasa los 50 m. Este acuífero es altamente vulnerable a la introducción de contaminantes presentes en las aguas superficiales. En esta condición se encuentran también las llamadas “norias” (pozos domésticos con una profundidad de 20-30 m), comunes en las colonias populares de Zamora. Las prácticas sociales de uso del vital líquido en estas colonias evidencian que el agua entubada no se utiliza para beber, predomina la compra de agua purificada embotellada para este fin, pero sí se utiliza regularmente en la cocción de alimentos.

Una de las variables determinantes de la calidad del agua es el contenido de sales; en los manantiales de la cuenca del río Duero la salinidad, estimada por medio de la conductividad eléctrica (CE), es tres veces menor que la salinidad del agua de pozos. Adicionalmente, las características físicas y organolépticas de los flujos de los manantiales de la zona –olor, color, sabor, turbiedad– superan las del agua de pozo profundo que surten a varias colonias de Zamora. Por estas razones, los manantiales de la región se han vuelto recursos codiciados, en especial el abasto urbano, a causa de la buena calidad química de sus flujos y por el bajo requerimiento de inversiones para su extracción. En este contexto y dado que en Zamora es notable la baja calidad del agua entubada, el organismo operador de agua en esta ciudad tiene proyectado solicitar la concesión de 1.0 m³/s de agua proveniente del manantial Camécuaro, en el municipio colindante de Tangancícuaro. Debido a que los caudales de este manantial son usufructuados por usuarios agrícolas, las autoridades municipales de Zamora proponen intercambiar agua procesada en su planta de tratamiento por el agua del manantial, y de otras tres plantas que tienen proyectadas para construir. Se observan las mismas estrategias de otras regiones del país; el campo proporciona agua limpia y le regresan agua tratada.

En la zona se han realizado pocos estudios en relación con la calidad del agua para uso y consumo humano. Los trabajos que se han llevado a cabo en este sentido (Velázquez y Pimentel 2006; Velázquez y Pimentel 2007) muestran concentraciones elevadas de boro en las aguas subterráneas de la parte baja de la cuenca y algunos de estos pozos son utilizados para uso urbano (comunidades de El Limón, La Luz, El Valenciano e Ibarra). El límite que marca la normativa en relación

con el contenido de boro en el agua para consumo humano es de 1.0 mg/l (NOM-127-SSA1-1994), en tanto que en el vital líquido que abastece a estas comunidades se detectaron de 1.03 a 3.08 mg/l. de acuerdo con información de pobladores locales, en la comunidad de El Limón se han presentado casos de enfermedades renales en algunos habitantes, las cuales se han asociado con el consumo del agua procedente del pozo que abastece a las viviendas de la comunidad.

A partir de los análisis físico-químicos realizados a las aguas de pozos y manantiales se detectaron altas concentraciones de metales pesados como el plomo (Velázquez y Pimentel 2008) en el agua para uso y consumo humano de la cuenca; este aspecto es de importancia debido a la alta toxicidad de este elemento a la salud humana. Se encontró que cinco de los siete manantiales existentes en la parte alta de la cuenca y tres pozos de uso urbano superan el límite de 10 µg/l (0.010 mg/l) para agua de consumo humano. En la zona media (Zamora-San Simón), 10 de los 14 pozos urbanos estudiados superaron esta concentración límite, mientras que en la zona baja (Ixtlán-Ibarra) los seis pozos analizados mostraron concentraciones de 20-70 µg/l (0.020 y 0.070 mg/l). El origen de este metal se asoció con la geología de la zona, ya que es poco probable la infiltración de contaminantes superficiales a los acuíferos.

Por otra parte, observamos que el establecimiento de un caudal ecológico en los ríos es un factor de especial importancia, reconocido internacionalmente, para asegurar un desarrollo sustentable ecológico de los territorios (Hattingh and Claasen 2008) y a la fecha se han diseñado diversas metodologías para su cuantificación (Manteiga y Olmeda 1992; Mayo, 2000;). En relación con el río Duero, no se cuenta en la actualidad con investigaciones dirigidas a determinar el caudal ecológico que debe circular en los distintos tramos de la corriente. Esta es una asignatura pendiente en la investigación hidrológica en la cuenca. En este rubro, la Ley de Aguas Nacionales (Ley de Aguas Nacionales, Art, 3 Frac. LVI. DOF 18/04/2008) define como agua para la conservación ecológica, “el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema”.

Las observaciones resultantes de diversos trabajos realizados en el Duero muestran que la intensa explotación del recurso hídrico deja ya sentir sus efectos en algunos tramos del río; este es el caso de la sección comprendida entre la derivación hacia la hidroeléctrica El Platanal –a la altura de la estación hidrométrica Las Adjuntas– y el poblado del mismo nombre. En esta parte del río, la hidroeléctrica capta una parte considerable de los flujos de éste, dejando escurrir aguas abajo un escaso caudal que además recibe las descargas de la planta para tratar aguas residuales de la Central de Abastos de Zamora (Velázquez 2005); también en esta porción del río se vierten las descargas de aguas residuales sin tratar del poblado El Platanal (unos 3.38 l/s). La suma de bajo caudal y calidad deficiente de los flujos estaría afectando fuertemente la capacidad del río para mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial, acentuando los problemas ambientales en esta parte del Duero.

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Los usuarios del agua de riego en la cuenca se organizan formalmente mediante Unidades de Riego y el Distrito de Riego 061 Zamora, éste último con cuatro Módulos de Riego. El Distrito de Riego cuenta con una superficie de riego de 18 015.98 ha propiedad de 4 236 usuarios; comprende total o parcialmente las tierras de los municipios de Zamora, Jacona, Tlazazalca, Tangancicuaro, Chavinda, Ixtlán y Pajacuarán. El agua superficial disponible en el Distrito de Riego es de 397.9 hm³ anuales, de los cuales se encuentran concesionados para riego 217.93 hm³ (Conagua 2000b).

En nuestra perspectiva, los aspectos de interés en relación con la calidad del agua agrícola son principalmente: *a*) efecto de la composición química del agua en los rendimientos de los cultivos, *b*) las repercusiones sanitarias en la población que consume los productos frescos, y *c*) efectos en la biota acuática cuyo hábitat es el río y los canales. Los dos últimos rubros se analizan en este documento.

El deterioro de la calidad del agua para el riego en la cuenca se ha venido agravando debido a la descarga de aguas residuales de las localidades urbanas, agroindustrias y rastros municipales en la red de

canales y el río. Los estudios sobre calidad química y microbiológica de las aguas del río Duero (Conagua 2004; Velázquez 2005) señalan que la contaminación por bacterias coliformes fecales es grave a lo largo de la red hidrográfica y no cumple con las Normas Oficiales Mexicanas para su uso en riego de hortalizas, con excepción de las aguas de los manantiales Carapan y Camécuaro (cuadro 2). Esta situación es de importancia por representar potenciales problemas sanitarios en la población que consume hortalizas y frutas frescas. En relación con la presencia de metales pesados, no se detectó contaminación apreciable por plomo, cobre, fierro, manganeso y zinc en la corriente del río, aunque las descargas de las tenerías existentes en la zona requieren de un monitoreo para detectar presencia de cromo (Velázquez 2005).

Cuadro 2. Concentración de bacterias coliformes fecales y *Escherichia coli* en el río Duero. Año 2005

Sitio de muestra	Coliformes fecales			Escherichia coli		
	NMP/100 ml					
	Abril	Junio	Sep.	Abril	Junio	Sep.
Carapan	93	23	230	93	3	43
Ichán	9 300	9 300	43 000	9 300	9 300	7 500
Huáncito	15 000	42 000	93 000	1 500	15 000	43 000
Santo Tomás	9 300	9 300	43 000	430	9 300	43 000
Chilchota	240 000	240 000	23 000	15 000	240 000	23 000
Puente El Duero	9 300	9 300	4 300	43	2 100	750
Las Adjuntas	24 000	9 300	15 000	1 500	1 500	15 000
Los Espinos	240 000	2 400 000	24 000	230	15 000	210 000
Dren A	93 000	240 000	93 000	9 300	24 000	93 000
San Simón	150 000	930 000	93 000	430	430 000	43 000
Vista Hermosa*	11 000 000	110 000 000		930 000	110 000 000	
Ibarra	2 400	230	43 000	93	40	15 000
Camécuaro		430			150	

*Aguas residuales sin tratar del poblado del mismo nombre.

Fuente: Velázquez (2005).

NMP= Número más probable.

Debido a que las descargas de aguas residuales son la principal fuente de contaminación del agua superficial en la cuenca, se revisan algunos aspectos relacionados con la generación, legislación y tratamientos de estos efluentes en la zona.

LAS AGUAS NEGRAS

En los 12 municipios que participan mayoritariamente en la cuenca se generan unos 802 l/s de aguas negras o residuales (cuadro 3), de los cuales reciben tratamiento unos 330 l/s. Para la estimación de estas aguas, se tomó una media de 200 l/día de consumo del vital líquido por habitante para aquellas poblaciones con agua entubada (potable) y drenaje; de esta cantidad, alrededor de 80% se recoge como agua residual. Para el caso de aquellas comunidades con agua entubada pero sin drenaje, el consumo medio se estableció en 50 l/día/habitante. Estas estimaciones se hicieron con datos de población del año 2000; dado que el conteo de habitantes del año 2005 arrojó un crecimiento poblacional de 0.63% (INEGI 2005), los ajustes a estos cálculos son mínimos y los datos mantienen su validez para una interpretación general de la cantidad de aguas residuales generadas en la cuenca.

Cuadro 3. Población total por municipio y volumen de aguas residuales generado en la cuenca del río Duero

Municipio	Población total	Agua potable y drenaje (% de viviendas)	Agua potable sin drenaje (% de viviendas)	Volumen de AR (l/s)
Chilchota	30 711	36.3	58.1	37.1
Tangancicuaro	32 821	69.7	22.5	58.7
Tlazazalca	8 830	75.4	20.4	16.7
Purépero	15 666	90.0	-	33.5
Zamora	161 918	95.5	-	362.6
Jacona	54 130	93.7	3.2	119.4
Chavinda	10 968	90.0	7.9	23.5
Tangamandapio*	10 523	90.0	-	22.5
Ixtlán	14 393	89.9	8.02	30.8
Pajacuarán	19 688	82.3	15.7	39.5
Vista Hermosa	17 687	89.4	8	37.7
Briseñas	9 641	88.5	9.3	20.3
Total	402 698			802.3

Fuente. Velázquez (2005).

Para la regulación de la calidad de las aguas residuales que se descargan en aguas y bienes nacionales, donde se incluyen los ríos, la

Norma Mexicana NOM-001-Semarnat-1996 marca los límites máximos permitidos de contaminantes y las fechas en que los municipios, de acuerdo con su población, deberán cumplir con ellos. En los aspectos de riego agrícola y protección a la vida acuática son importantes los parámetros mostrados en el cuadro 4. Se observa que las descargas de aguas residuales domésticas –sitio Vista Hermosa del cuadro 4– generan como principal problema la contaminación microbiológica, con concentraciones de bacterias coliformes fecales que oscilan, en el periodo de muestreo, de 11×10^6 a 110×10^6 NMP/100ml. Para la corriente del río Duero, los flujos de los manantiales causan una dilución en la concentración de estas bacterias: 2 400 a 930 000 NMP/100 ml. Este grave deterioro en la calidad microbiológica del agua de riego afecta la calidad sanitaria de los cultivos de alto valor en el mercado, especialmente las hortalizas y la fresa.

Cuadro 4. Límites máximos permitidos de contaminantes (mg/l) en descargas de aguas residuales a ríos y valores para las aguas residuales en una población de la cuenca

Parámetro**	Ríos		Concentración en Aguas residuales (Briseñas)***
	Riego agrícola	Vida acuática	
Arsénico	0.2-0.4*	0.1-0.2	
Cadmio	0.2-0.4	0.1-0.2	
Cobre	4.0-6.0	4.0-6.0	0.022-0.026
Cromo	1.0-1.5	0.5-1.0	
Mercurio	0.01-0.02	0.005-0.01	
Níquel	2.0-4.0	2.0-4.0	
Plomo	0.5-1.0	0.2-0.4	0.003-0.006
Zinc	10.0-20.0	10-20	0.002-0.006
Cianuros	1.0-3.0	1.0-2.0	
Grasas y aceites	15.0-25.0	15-25	
DBO	150-200	30-60	
N Total	40-60	15-25	0.61-0.82
P Total	20-30	5-10	1.5-2.1
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1000-2000		11×10^6 - 110×10^6

* El valor mínimo corresponde al promedio mensual y el máximo al promedio diario.

** Fuente: Norma Mexicana NOM-001-Semarnat-1996.

*** Fuente: Velázquez (2005).

Para el tratamiento de las aguas residuales, la infraestructura sanitaria comprende principalmente los servicios de alcantarillado y drenaje, que de manera regular descargan los efluentes en el río y la red de canales. Algunas poblaciones tienen plantas de tratamiento de aguas residuales (cuadro 5), aunque la mayoría de ellas no opera o lo hacen a bajos niveles de eficiencia, con excepción del sistema lagunar (Lagunas de estabilización) que se instaló en la ciudad de Zamora a principios de los años noventa. Con este sistema se ha logrado una eficiencia de 99% en el control de bacterias coliformes fecales.

Ante un escenario de baja capacidad de tratamiento de las aguas residuales que se vierten al río, principal fuente de contaminación del río, y la necesidad de cumplir con las normas de calidad de modo principal en cultivos altamente rentables como la papa y las hortalizas, las autoridades del Distrito de Riego 003 Agrícolas han adoptado el modelo de empleo de aguas subterráneas dejando de utilizar aguas superficiales; esto incluye la perforación, perforación y equipamiento de pozos profundos, inversión en la tecnificación de sistemas de riego y la inversión de 4 916 ha en la cuenca; se pretende iniciar el intercambio de aguas superficiales concesionadas a los usuarios agrícolas por aguas subterráneas de mejor calidad agrícola. Este intercambio acuático implica una carga financiera para los usuarios del riego por los costos de inversión para la extracción del agua del acuífero. Como señalan otros autores, en la competencia por el vital líquido el agua subterránea es el que va perdiendo los derechos con respecto a las aguas superficiales (Prieto-Celi, 1998), situación que se observa en la cuenca del río Duero.

Con las medidas que están tomando las autoridades en la cuenca se pretende, además de disminuir los costos de explotación de las aguas superficiales, ahorrar 39.5 hm³ y 7 hm³ de agua subterránea (Conagua 2006). Los beneficios de este “ahorro” se canalizarían al lago de Chapala. Además, adicional, se plantea la promoción y puesta en funcionamiento de la certificación de la inocuidad de los productos de la zona de la fresa, y el entubamiento de las aguas limpias de la zona, juntamente con el revestimiento o rehabilitación de los canales.

Aún cuando las eficiencias en la remoción de contaminantes como coliformes fecales es alta en sistemas de

Cuadro 5. Plantas/sistemas de tratamiento de aguas residuales en la región

Sistema	Localización	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l//s)	Eficiencia*
Lagunas de estabilización	Zamora	495	330	DBO = 72% CF = 99.8%
Laguna de oxidación	Atacheo		Sin operar	
Aereación extendida	Central de Abastos	6	4-6	CF = 90%
Laguna anaerobia Laguna facultativa	Vista Hermosa			CF = 78%
Reactor anaerobio (tanque Imhoff)	Carapan			DBO ~ 30%
Tanque Imhoff	Jamandúcuaro (Tlazazalca)		Sin operar	

*Medida como reducción en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y coliformes fecales (CF). Fuente: Velázquez (2005).

estabilización de Zamora (cuadro 5), el valor numérico de sus concentraciones en las descargas no cumple con la normativa ya mencionada (cuadro 6) donde se establece el límite de 1000 NMP/100 ml. En condiciones todavía menos eficientes se limpian las aguas residuales en los sistemas de la Central de Abastos y en el lago de Camécuaro. En este sentido sería conveniente incorporar un tratamiento secundario a los efluentes tratados; en el caso de Zamora podría ampliarse la superficie de las lagunas, especialmente las aeróbicas, e incluso establecer vegetación acuática para mejorar la calidad bacteriológica de los caudales tratados.

Cuadro 6. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en la región de río Duero y su eficiencia en la remoción de bacterias coliformes

Número	Ubicación del sistema de tratamiento	Coliformes fecales NMP/100 ml	Escherichia coli
1	Camécuaro	> 1 100 000	> 1 100 000
2	Central de Abastos (entrada)	> 11 100 000	> 11 100 000
3	Central de Abastos (salida)	> 1 100 000	23
4	PTAR Zamora (entrada)	> 11 100 000	> 11 100 000
5	PTAR Zamora (salida)	21 000	21 000

Fuente: Velázquez (2005).

CONCLUSIONES

En la cuenca del río Duero aún se dispone de suficiente agua para satisfacer las necesidades humanas y productivas; no es una cuenca “estrezada”, gracias al volumen medio de precipitación anual y la presencia de importantes fuentes de agua como los son los manantiales de la Cañada de los Once Pueblos y la zona del valle de Tangancícuaro, podemos decir que aquí se localiza la mayor riqueza hídrica de la cuenca; sin embargo, los resultados de investigación muestran que se registran altos niveles de contaminación bacteriológica, los cuales ponen en riesgo la salud humana y la inocuidad de los productos hortícolas. La contaminación química muestra una tendencia a la alza; particularmente preocupantes son los registros de la presencia de plomo. La infraestructura de saneamiento de las aguas en la cuenca es insuficiente para resolver el problema de la contaminación a partir del número de plantas de tratamiento y su nivel de eficiencia.

Los drenajes urbanos siguen siendo una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales y probablemente de las aguas subterráneas, sobre todo en la zona conurbada Zamora-Jacona. El uso de las aguas subterráneas en el riego está siendo favorecido por las autoridades de la Conagua, obligando a los productores agrícolas a abandonar el uso de agua superficial; con ello se pretende mejorar la calidad del vital líquido utilizado y liberar volúmenes del recurso para abastecer el lago de Chapala.

Por otro lado, la reciente instalación de la Comisión de Cuenca del río Duero es un primer paso en la gestión de la cuenca, pero no garantiza la gestión sostenible del recurso hídrico por el riesgo de burocratización y la escasa participación social de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (Conagua)

- 2002a Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Zamora, Estado de Michoacán, Documento Interno, México, 25 p.
- 2002b Reglamento para la operación, conservación, mantenimiento y administración de la infraestructura y de los bienes concesionados del Distrito de Riego 061 del Distrito: Zamora-La Magdalena, Documento interno, Zamora, Michoacán, México. 53 p.
- 2004 Informe de calidad de agua suministrada al distrito de riego 061, "Zamora", Documento interno, Zamora, Michoacán, México. 45 p.
- 2006 Plan Director para la Modernización Integral del Riego (PDMIR) en el Distrito de Riego 061 "Zamora", Documento Interno, Zamora, Michoacán, México. 31 p.

CHANDUVI, F.

- 1998 La acción de la FAO sobre gestión de la calidad de las aguas. *In*: Taller Internacional Gestión de la Calidad del Agua y Control de la Contaminación en América Latina y el Caribe. Arica, Chile y Tacna, Perú. 30 de septiembre al 4 de octubre de 1998. <http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/gestio/tema1.pdf>. pp. 11-22.

DWAF (Department of water affairs and forestry)

- 1991 Water quality management policies and strategies in the RSA.
- HATTINGH, J. and M. CLAASSEN
- 2008 Securing water quality for life. *Water resources development*. vol. 24, núm. 3: 401-415.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)

2005 Censo Nacional de Población y Vivienda 2005. Resultados para el Estado de Michoacán. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=10202&s=est>

MANTEIGA, I. y C. OLMEDA

1992 La regulación del caudal ecológico, *Quercus*, 78:44-46.

MAYO-RUSTARAZO, M.

2000 Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos. Adaptación del método ifim-phabsim y aplicación a los ríos españoles. Tesis de Doctorado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 686 p.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM 127-SSA1-1994

2000 Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. DOF 22/11/2000.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996

2003 Que establece los límites máximos permitidos de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. DOF 23/04/2003.

PRIETO-CELL, M.

1998 "Tendencias del uso del agua de calidad marginal en el riego" en Taller Internacional Gestión de la Calidad del Agua y Control de la Contaminación en América Latina y el Caribe. Arica, Chile y Tacna, Perú, 30 de septiembre al 4 de octubre de 1998. <http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/gestio/tema1.pdf>. pp. 1-10.

PIMENTEL, J.L. y M. VELÁZQUEZ

2008 Impacto socioeconómico de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Duero y su importancia en la producción de fresa, Informe Técnico de Proyecto, Sagarpa-Consejo Nacional de la Fresa, A.C. Zamora, Mich. 101 p.

SEEFOÓ, J.L.

- 2005 Aspectos socioeconómicos en relación con las aguas residuales. In: Velázquez, M. (coord.), Diagnóstico para el saneamiento del río Duero, Informe Técnico de Proyecto, Sagarpa-COEFREM, A.C. Zamora, Mich. 203 p.

VELÁZQUEZ, M. (coord.)

- 2005 Diagnóstico para el saneamiento del río Duero, Informe Técnico de Proyecto, Sagarpa-COEFREM, A.C. Zamora, Mich. 203 p.

VELÁZQUEZ, M. y J.L. PIMENTEL

- 2006 Salinidad, P, B y E. coli en el río Duero, Michoacán. Memorias XV Congreso Nacional Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Guadalajara, Jal., 24-26 mayo 2006.
- 2007 El boro en la cuenca del río Duero: tendencias generales y efectos ambientales. Memorias IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. 19-21 noviembre 2007, Veracruz, Ver.
- 2008 Plomo y metales tóxicos en las aguas subterráneas de la cuenca del río Duero. Memorias II Coloquio Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo. 25-27 de noviembre, CIEMAD-IPN. México.

VALADEZ, G.

- 1991 Informe General sobre la exploración sanitaria del Municipio de Jacona, ex Distrito de Zamora, Michoacán, México, pp. 15-41.

OSWALD, U.

- 2006 "Hidrodiplomacia y conflictos por el agua" en Vázquez, V. *et al.* (coords.), *Gestión y Cultura del Agua*, Semarnat/IMTA/ COLPOS México, 24 p.