

Entorno social y calidad del agua en el estado de Morelos

Úrsula Oswald S.*

A principios del decenio de los noventa reaparecieron en el mundo —sobre todo en América Latina— enfermedades en apariencia erradicadas como el cólera. Las noticias alarmantes provenientes de Perú obligaron a tomar medidas de defensa en el resto de la zona para impedir la propagación del mal. Ello constituye una de las manifestaciones más notorias de los efectos de la década perdida y los procesos correlativos de empobrecimiento que deterioraron hondamente la infraestructura sanitaria básica, abatieron los salarios y agravaron la desnutrición de

grandes grupos sociales, todo lo cual propició el resurgimiento de epidemias y mayores coeficientes de morbilidad.

El servicio de la deuda y la repatriación de utilidades hicieron que América Latina y el Caribe registraran en los ochenta un flujo negativo anual que fluctuó de 17 000 a 32 000 millones de dólares.¹

1. CEPAL, *Transformación productiva con equidad*, Santiago de Chile, 1990, pp. 31-39.

*Investigadora del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la UNAM. Los análisis microbiológicos y fisicoquímicos del agua se llevaron a cabo gracias al apoyo institucional de Juan Ramón de la Fuente, director de la Facultad de Medicina; Carlos Castañeda, director del Programa Universitario de Alimentos; Raúl Béjar, director del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Federico Sánchez, jefe de la Unidad de Biología Molecular de Plantas y Biotecnología Vegetal, todos pertenecientes a la UNAM, y Rosa María Melgosa, jefa del Laboratorio de Análisis Industriales de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de México. A ellos agradezco su desinteresada ayuda. El Conacyt (por medio de los proyectos Desarrollo sin Costos Ecológicos y Alimentación, Deuda

Social y Estrategias de Supervivencia) y la Dirección General de Apoyo al Personal Académico de la UNAM aportaron los recursos financieros para realizar las investigaciones. El Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la UNAM proporcionó las instalaciones y el apoyo logístico. En los levantamientos empíricos y el análisis de laboratorio participaron Raúl Alonso, Raquel Arellano, Gregorio Bahena, David Castillo, Margarito Ceballos, Hortensia Colín, Julieta González, Guadalupe Medina, Rogelio Oliver, Guadalupe Rosales, Olivia Vargas, Jesús Vázquez e Irma Piedrola. El entrenamiento y la vigilancia de los análisis microbiológicos estuvieron a cargo de Olga Velázquez, de la Facultad de Química de la UNAM. También a ellos les expreso mi agradecimiento. Desde luego, los errores son responsabilidad mía.

A ello se deben añadir las fugas de capital² y las pérdidas por el deterioro de los términos del intercambio.³ Después de diez años de recesión continua y crecimiento inferior a la expansión demográfica, existe el peligro de que la miseria se torne crónica.

El agua y la alimentación son los elementos más indispensables para la supervivencia del hombre. Un ser humano requiere en comida, limpieza y otras necesidades individuales o colectivas de 150 a 400 litros de agua por día, es decir, de 55 000 a 146 000 litros anuales. De ahí que a lo largo de la historia los asentamientos humanos se hayan establecido en lugares con fácil acceso al recurso hídrico.

La urbanización, las prácticas higiénicas personales y los sistemas sanitarios han incrementado de manera considerable el consumo de agua. La transformación de vastas áreas urbanas en planchas de asfalto reducen la filtración del agua de lluvia a los acuíferos. Incluso, cuando llueve en abundancia se inundan amplios sectores ciudadanos por la saturación del sistema de alcantarillado. Y es precisamente donde la densidad demográfica exige mayor cantidad de agua donde la infraestructura más impide la filtración del vital líquido al manto freático. Por tal motivo, en Japón y Europa se han instalado pavimentos permeables al agua.

Las actividades industrial y agrícola también han incrementado la demanda de agua. Muchos procesos productivos la necesitan en abundancia, sobre todo la agricultura, que en México se desarrolla primordialmente en las zonas semiáridas (80% del territorio), donde el riego constituye el único medio para producir o incrementar los rendimientos.

Aunque es un recurso renovable, sólo de 10 a 15 por ciento del agua del planeta se filtra a los acuíferos, alrededor del doble forma ríos que alimentan a los océanos y el resto se evapora. De la subterránea se pierden 1 500 km³ y de la captación superficial cerca de la mitad es aprovechable; es decir, en el orbe existen de 30 000 a 35 000 km³ de agua para uso, capacidad que por el crecimiento demográfico se utilizará al máximo alrededor del año 2050. A partir de entonces, aunque mucho antes en ciertas zonas, habrá que reciclar agua salina y contaminada. Sin embargo, si no se cuida ahora, se contaminará y agotará prematuramente.

Junto con los efectos de corto plazo de la persistente crisis económica que irrumpió en el decenio anterior, se encuentran las tendencias de largo plazo de deterioro de las fuentes de agua y el elevado incremento de la demanda. El crecimiento demográfico, la urbanización, el desarrollo industrial y la deforestación son apenas

unos cuantos de los procesos que originan una escasez real y potencial de recursos hídricos tanto en volumen como en calidad.

El balance hídrico muestra que 94% del agua se localiza en los océanos, 4% en mantos subterráneos, 2% en glaciales y menos de 1% en lagos, pantanos, ríos, canales y la humedad atmosférica y biosférica. Los mantos subterráneos son, por tanto, la fuente principal de agua potable, de riego y para uso industrial. No obstante, hay numerosos fenómenos y prácticas que pueden degradarlos. El agua de la lluvia que se cuele a través de los depósitos de basura es el lixiviado, que tiene muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos. Las aguas residuales, los desperdicios industriales y los materiales tóxicos inyectados a gran presión a profundidades de 300 a 2 000 metros en procesos químicos, petroquímicos y farmacéuticos, así como los fertilizantes inorgánicos, plaguicidas y herbicidas usados en la agricultura, se pueden filtrar al acuífero y contaminarlo. Otro factor que afecta la calidad del agua subterránea es la lluvia ácida, pues “la mayoría de los contaminantes atmosféricos (gases y partículas) son solubles en la precipitación y acarreados al suelo”.⁴ Esto incrementa las reacciones químicas del suelo o las rocas y la mineralización del agua subterránea.

La contaminación no es igual en todas las regiones del planeta. Las zonas industriales y urbanas, por ejemplo, ocasionan un mayor deterioro. Por el clima semiárido de gran parte de su territorio, México se encuentra en una situación particularmente difícil. El agua “muerta” en un lago tarda alrededor de 500 años en regenerarse, mientras que la de un río lo hace en un mes si recibe afluentes limpios y no se le ensucia en su recorrido.

De la población mexicana, 79.4% dispone de agua entubada (50.3% dentro de la vivienda), mientras que sólo 63.6% cuenta con algún sistema de drenaje.⁵ En 1992 se usarán, en volumen absoluto, unos 12.337 km³ de agua para consumo personal.

Con excepción del trópico húmedo, la agricultura moderna requiere de riego porque la época de lluvias dura de dos a cinco meses, según la región, y el resto del año no existe precipitación regular. Más aún, la sequía interestival del período de lluvia puede dañar el desarrollo de los cultivos. Un caso extremo es el estado de Sonora, donde hay “diez meses de secas, frente a dos de lluvia y aun en éstos la curva de precipitación rebasa apenas la temperatura. La intensa evapotranspiración durante todo el año da lugar a condiciones climáticas tan extremas que los requerimientos de agua exceden ampliamente la precipitación”.⁶ Así, la reconversión del agro precisa de grandes volúmenes de agua de riego.

4. R.D. Arizabalo y G. Díaz F., “La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos”, *Cuadernos*, núm. 6, Instituto de Geofísica de la UNAM, 1991, pp. 26.

5. *Censo General de Población y Vivienda, 1990*, Aguascalientes, 1991.

6. Úrsula Oswald S. et al., *Campesinos protagonistas de su historia*, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 1986, p. 89.

2. Rudolf Strahm y Úrsula Oswald, *Por esto somos tan pobres*, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM)/UNAM, Cuernavaca, 1990, pp. 126 y 127.

3. CEPAL, *op. cit.*, p. 25. De 1980 a 1989 el índice de precios de los alimentos para exportación cayó 33.1%; el del café, 47.3%, y el de la plata, 77.1 por ciento.

El estado de Morelos, caso concreto de este estudio, no escapa a esta situación. Según el Censo General de Población y Vivienda de 1990, 88.5% de los morelenses dispone de agua entubada (aunque sólo 41.6% con servicio domiciliario). Con respecto al drenaje, apenas 43.8% cuenta con conexión al de la calle, 18.9% tiene fosa séptica, 6.5% recurre al desagüe en el suelo, río o laguna alledaños y 29.3% carece por completo del servicio. Cada año, además, la entidad requiere 0.174 km³ de agua para consumo personal.

De acuerdo con datos de una encuesta propia realizada en 832 lugares de Morelos, 65.6% recibe agua del sistema público, 28.6% de un manantial y 5.8% de algún río. Además, 10.2% de sus habitantes tarda de 15 a 30 minutos en llevar a su hogar el vital líquido y 15.3% se demora más de una hora. En cuanto a la regularidad del abasto, 47.4% dispone siempre de agua; 38.9% de una a tres ocasiones por semana, y 2.4% una vez por quincena. También se encontró que 53.3% la utiliza básicamente para beber y cocinar, 41.3% para lavar ropa y el restante 5.4% en actividades agropecuarias u otras.⁷

El riego es indispensable en la entidad para lograr buenas cosechas. Desde los tiempos de la conquista española los valles se transformaron en cañaverales, pero la reconversión en marcha del campo los podría convertir en una próspera zona de horticultura. En la actualidad se cuenta con 50 548 hectáreas de riego y 91 757 de temporal; para mejorar la producción se requerirían por lo menos 0.23 km³ de agua, siempre y cuando se establecieran sistemas de riego ahorradores del líquido.

La proliferación de asentamientos humanos y el progreso económico afectan la calidad del agua. Numerosos fenómenos vinculados con ellos tienden a contaminar acuíferos, ríos, lagos y lagunas. No sólo los procesos demográficos, industriales y agrícolas deterioran las aguas subterráneas (*contaminación antropogénica*); la simple filtración de lluvia por diversos sustratos del suelo puede arrastrar partículas fisicoquímicas dañinas para la salud (*contaminación natural*).

De ahí que las autoridades responsables del bienestar colectivo implanten normas oficiales para prevenir daños asociados con la ingesta de agua contaminada y, por la misma razón, vigilen el manejo de los desechos industriales y agrícolas. No obstante los grandes logros en la medicina, la epidemiología y las ingenierías civil y sanitaria, poco se ha avanzado en el análisis de la contaminación orgánica (hidrocarburos aromáticos, organoclorados, organofosforados, organoazufrados⁸), tanto en los métodos de detección como en el establecimiento de normas regulatorias, a pesar de que desde 1976 la Organización Mundial de la Salud identificó

más de 1 200 sustancias de esa clase. En contraste, en el tratamiento de la contaminación inorgánica se han desarrollado y puesto en práctica diversos métodos y normas nacionales e internacionales.

Conforme al artículo 109 de la Ley General de Salud, se considera potable o apta para el consumo humano el agua cuya ingestión no dañe la salud, es decir, la libre de gérmenes patógenos y sustancias tóxicas. Además, según el artículo 211, debe cumplir con "los requisitos organolépticos y físicos".⁹

En suma, el crecimiento demográfico, la urbanización y el progreso agrícola e industrial han multiplicado la demanda de agua, y su abastecimiento es prioritario para el desarrollo de numerosas actividades productivas y la satisfacción de metas sociales básicas. En la actualidad, el suministro de agua potable es uno de los indicadores esenciales del bienestar de la población. Así, las autoridades se enfrentan con el doble problema de asegurar un abasto suficiente y cuidar que éste sea de buena calidad. En este trabajo se reseña una investigación casuística sobre uno de ellos: la calidad microbiológica y fisicoquímica del líquido vital en el estado de Morelos.

Determinación bacteriológica del agua de consumo doméstico

El agua puede transmitir diversas infecciones. La Organización Mundial de la Salud señala que en el planeta existen unos 500 millones de enfermos a causa de ellas y alrededor de 60% de las muertes son de origen hídrico. El agua puede contener virus, bacterias, protozoarios y helmintos,¹⁰ microorganismos transmisores de males infecciosos.¹¹

Como apuntan los estudios de epidemiología, no todos los individuos y grupos sociales tienen el mismo riesgo de contraer una infección. Existen factores tanto biológicos cuanto sociales, económicos, geográficos y demográficos que favorecen o inhiben la propagación de enfermedades. Entre los biológicos destacan la naturaleza de la infección y el tipo de inmunidad desarrollado. En

9. "Ley General de Salud", *Diario Oficial*, 18 de enero de 1988.

10. Lourdes Esteva, Guillermo Gómez, Juan Hernández y Marco Zepeda, "Matemáticas y epidemiología", *Ciencias*, núm. 24, octubre de 1991, pp. 57-63.

11. Entre las enfermedades infecciosas provocadas por bacterias, las más importantes en relación con el consumo de agua son la tifoidea, la salmonelosis, el cólera y la melioidosis; en caso de los protozoarios, la amibiasis. El agua estancada y contaminada influye también en la propagación de vectores de morbilidad: los virus provocan principalmente la encefalitis; los protozoarios, el paludismo, el dengue y los tripanosomas, mientras que los helmintos, las enfermedades de oncocercosis, echinococcus granulosis, filariasis, anquilostomiasis, ascarirosis, sarcosistosis y esquistosoma. Véase *El Manual de Merck*, Doyma, Barcelona, 1989, pp. 91-120, 948 y 961, y Václao Kouba, *Epizootiología general*, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1975, pp. 225-232.

7. Encuesta realizada en 838 hogares del estado de Morelos como parte del programa de investigación Sistema Alimentario en México, 1989-1991, CRIM/UNAM, Cuernavaca.

8. Véase también Iván Restrepo, "Naturaleza muerta", en *Los plaguicidas en México*, Editorial Océano, México, 1988.

cuanto a los sociales y del ambiente, tienen un peso enorme el hacinamiento, la pobreza, la contaminación y la falta de recursos económicos y materiales para cubrir las necesidades básicas de alimentación, vivienda e higiene. La desigualdad social y la carencia de servicios básicos provocan rezagos epidemiológicos cuya expresión más dolorosa radica, sin duda, en las muertes evitables, sobre todo las de infantes.

La determinación de la calidad bacteriológica del agua¹² reviste, por tanto, una gran importancia para la salud pública porque permite garantizar la inocuidad del agua destinada al consumo humano y prevenir así infecciones y epidemias.

El caudal de agua suministrado a cualquier población se puede contaminar desde su origen o durante el recorrido hasta los sitios de consumo. En aguas residuales, portadores de desechos humanos o animales, es frecuente encontrar microorganismos patógenos, sobre todo intestinales, como los causantes de la tifoidea (*salmonella typhi*), la disentería bacilar (*shigella dysenteriae*) y el cólera (*vibrio cholera*), entre otros.

Sin embargo, en el control bacteriológico del agua se presentan las siguientes dificultades para identificar los microorganismos patógenos:

- no toda la materia fecal los contiene;
- al diluirse en el agua, pueden quedar en concentraciones no detectables por los métodos usuales de laboratorio;
- sobreviven poco tiempo en el agua y pueden desaparecer antes de que se les detecte, aunque hayan provocado enfermedades, y
- mientras se hacen los análisis bacteriológicos y se determinan los agentes patógenos, la población consume el agua contaminada y puede contraer las infecciones.

Con el fin de ejercer un control más eficaz del riesgo potencial, se identifican *microorganismos indicadores de contaminación* que se asocian con frecuencia a agentes patógenos y tienen las siguientes características: *i*) se localizan en la fuente de contaminación, haya o no microorganismos patógenos; *ii*) siempre están presentes cuando hay microorganismos patógenos; *iii*) sobreviven en el agua más tiempo que los patógenos, y *iv*) su detección en laboratorio es relativamente rápida, fácil, confiable y barata.

Los mesófilos aerobios y los coliformes¹³ son los dos grupos de microorganismos indicadores que más se utilizan en el control

12. Para mayor detalle, véase Úrsula Oswald y Olga Velázquez, "Determinación de la calidad bacteriológica del agua que consume la población de Morelos", *El recurso agua en el estado de Morelos*, CRIM/UNAM, Cuernavaca, 1992.

13. Las bacterias mesófilas aerobias evidencian la exposición del agua

bacteriológico del agua potable. Desde el punto de vista de la salud pública, sin embargo, los resultados aislados de muestras provenientes de la red de distribución son poco indicativos. El control de la calidad bacteriológica del agua debe ser permanente e incluir elementos como el tipo de fuente (pozo, manantial, ojo de agua), los riesgos de contaminación, la longitud de la red de distribución, el tipo de depósitos (cisternas, ollas, jarras, tinacos), los cambios estacionales, los brotes epidemiológicos y las reparaciones, interrupciones y anomalías en el suministro del líquido. Un problema común es el "tandéo" del agua, es decir, cuando en las tuberías cambia el equilibrio hidrostático y se forma un vacío que facilita la multiplicación de microorganismos.

Determinación fisicoquímica y de metales tóxicos del agua doméstica

Al igual que en el análisis microbiológico, la determinación fisicoquímica del agua es necesaria para garantizar un abastecimiento saludable de ésta. Las sales minerales útiles para el organismo humano pueden constituirse, en cantidades excesivas, en sustancias dañinas. El consumo de agua fuera de las normas puede causar alteraciones fisiológicas como anorexia, envenenamiento, náusea, vómito, diarrea, depresión del sistema nervioso central, daños al miocardio, problemas respiratorios y, en casos extremos, incluso la muerte.

Las modificaciones de los elementos fisicoquímicos pueden ser de origen natural o antropogénicos, aunque a veces se combinan ambos. Con base en las normas estipuladas en el *D.O.* (18 de enero de 1988), para la presente investigación se eligieron los siguientes parámetros:¹⁴

a) Fisicoquímicos: PH (conductividad, temperatura, color y olor); DT (dureza); ST (sólidos totales), y SS (sólidos sedimentables). También se considera la presencia de nitrógeno en las formas N-NH₃ (amoniacal), N-NO₂ (nitritos); N-NO₃ (nitratos), SO₄ (cloruros y sulfatos), SAAM (sustancias activas al azul de metileno, correspondientes a detergentes) y PO₄ (fosfatos totales).

b) Metales tóxicos: Cd (cadmio), Zn (cinc), Cu (cobre), Fe (fierro), Mn (manganeso), Pb (plomo), As (arsénico), Cr (cromo) y Ni (níquel).

a la contaminación general, así como la existencia de condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos y la presencia de materia orgánica; los coliformes, totales o fecales, habitan por lo regular en el tracto intestinal y las heces del hombre y otros mamíferos. El Código Sanitario Mexicano establece que el agua potable debe tener menos de 20 coliformes por litro, ninguno fecal, y no más de 200 colonias de mesófilos aerobios por mililitro.

14. Para realizar los análisis fisicoquímicos se utilizó la metodología establecida en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APMA.AWW.WPCF., 1985.

Metodología

El estudio se llevó a cabo en dos fases: *i*) de noviembre de 1989 a diciembre de 1990 se tomaron muestras de 174 fuentes de agua en 36 localidades de 19 municipios del estado de Morelos¹⁵ y *ii*) de mayo de 1991 a abril de 1992 se recopilaron muestras de 144 fuentes en los 14 municipios restantes de la entidad. Esa cobertura permite contar con una idea precisa sobre la calidad del agua de consumo humano en el territorio estatal. Asimismo, con el fin de detectar posibles cambios estacionales en la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua, el estudio se hizo en tres temporadas: *i*) durante abril y mayo (1990 y 1992), período de mayor sequía y escasez de agua; *ii*) a principios de la estación de lluvias (julio y agosto de 1990 y 1991), cuando el suelo se lava y numerosas partículas se arrastran al acuífero; *iii*) al término de la época de lluvias (noviembre y diciembre de 1989 y 1991), luego de que el suelo permaneció lavado durante varios meses y el manto freático quedó recargado.

En cada localidad se examinaron las fuentes de suministro (pozo, manantial, ojo de agua), los depósitos públicos y la red de distribución, esta última mediante el análisis al azar de una toma domiciliaria (distinguiendo entre llave directa, tinaco y recipiente del que se bebe el agua).¹⁶

Resultados microbiológicos

Los resultados globales con la variación estacional obtenidos en la primera fase (1989-1990) condujeron a una conclusión alarmante: el agua de las 36 localidades estudiadas no se consideró potable en términos microbiológicos. Como se aprecia en el cuadro 1, la estacionalidad no alteró demasiado el número de los microorganismos indicadores ante los altos índices

15. En esas localidades se realizaron otras investigaciones del Programa Sistema Alimentario en Morelos. Se trata de estudios geomorfológico-geológicos y ecológicos; evaluaciones de distintos procesos de desarrollo y sus efectos diferenciales en grupos sociales específicos; análisis nutricionales, como mediciones somatométricas y de dieta típica e ingesta, y estudios sobre actividades agroproductivas y desarrollo tecnológico, entre las más importantes.

16. Las muestras microbiológicas se recolectaron en condiciones asépticas y, para neutralizar el efecto de cloro, se añadió tiosulfato de sodio; después, se transportaron en refrigeración y se examinaron antes de que transcurrieran cuatro horas desde la toma. En los análisis microbiológicos de laboratorio se aplicó el método de filtración de membrana y se determinaron: a) mesófilos aerobios, en muestras de un mililitro, medio MF-TGE, con una incubación de 24 horas a 35 grados centígrados; b) coliformes totales, en muestras de cien mililitros, medio MF-Endo, con una incubación de 24 horas a 35 grados centígrados, y c) coliformes fecales, mediante resiembra de coliformes totales en tubos con caldo EC, con una incubación de 24 horas a 44-45 grados centígrados en noviembre de 1989; desde mayo de 1990 se utilizaron volúmenes de cien mililitros, medio MF-FCE, con una incubación de 24 horas a 44.5 grados centígrados.

CUADRO 1

Morelos: resultados microbiológicos del agua potable, 1989-1990

	Muestras	Potables		No potables		Con coliformes	
		Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%
1989 ^a	152	3	1.9	149	98.0	825	3.9 ^b
Abril de 1990	165	2	1.2	163	98.8	161	97.6
Julio de 1990	174	1	0.6	173	99.4	170	97.7

a. Noviembre-diciembre.

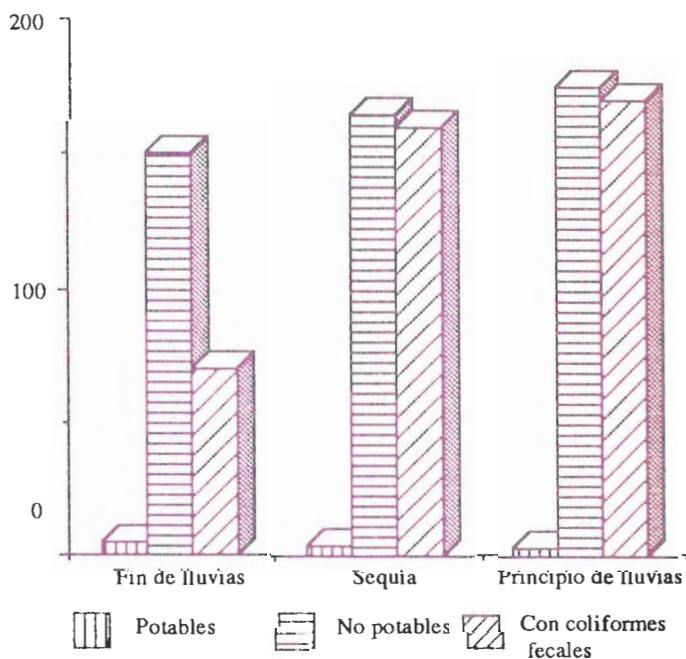
b. No es comparable porque se analizó con el método de resiembra en tubos múltiples y contiene falsos negativos.

Fuente: Sistema Alimentario de México, 1990.

de contaminación (alrededor de 98%); éstos fueron, en realidad, la única constante del agua de consumo humano durante todo el año y entrañaron un serio peligro para la población que la ingirió (véase la gráfica 1). Al margen de que el medio sea rural o urbano, o se trate de zonas montañosas, valles o localidades sedes de diferentes procesos de desarrollo (expansión ganadera, desplazamiento de cultivos por el de sorgo e industrialización, entre otros), la impotabilidad del agua fue un rasgo común. No sólo la extensión sino también la intensidad de la contaminación resultaron alarmantes. La norma establece como máximo 20 coliformes totales

GRÁFICA 1

Morelos: resultados microbiológicos en las tres etapas (Número de muestras)



por litro, pero en 90% de las muestras analizadas se encontraron más de 8 000 por unidad; tales resultados se agravaron por la presencia de coliformes de origen fecal en 97% de las muestras. A la luz de estos datos, las autoridades morelenses mejoraron a marchas forzadas el sistema de cloración y emprendieron la ampliación de la red de agua potable en Cuernavaca, la capital del estado.

Durante la segunda fase de análisis (julio-diciembre de 1991), en 13 municipios, predominantemente rurales, la potabilidad del agua mejoró en algo (7.7%), pero siguió siendo poco satisfactoria (véase el cuadro 2). No obstante, la cloración tuvo efectos positivos en el combate de los coliformes fecales y las muestras en que se encontraron descendieron de 97 a 40 por ciento.

Por su densidad poblacional, Cuernavaca se analizó aparte y se le dio un seguimiento cercano para evaluar el efecto de la cloración (véase el cuadro 3). A causa de los problemas logísticos y las fallas humanas, en julio de 1991 apenas en 10% de las muestras se encontró agua potable y en 40% se detectaron coliformes fecales. La automatización del sistema de cloración y el entrenamiento del personal permitieron eliminar por completo la presencia de los coliformes fecales. Sin embargo, el conjunto de los microorganismos indicadores muestra que 82.5% del agua aún no satisface las normas sanitarias. Se precisa una vigilancia permanente y concluir cuanto antes las obras de la red, pues la mayor contaminación bacteriológica se localizó en las redes de distribución primaria y secundarias.

CUADRO 2

Morelos: resultados microbiológicos del agua potable, 1991

	Muestras	Potables		No potables		Con coliformes	
		Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%
Julio	77	6	7.7	71	92.3	31	40.2
Noviembre-diciembre	65	5	7.7	60	92.3	39	60.0

Fuente: Sistema Alimentario de México, 1990.

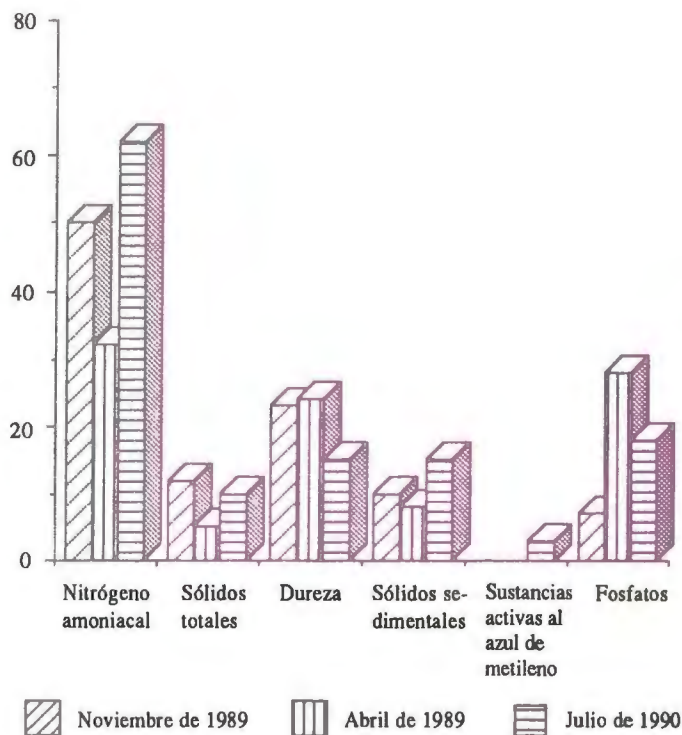
CUADRO 3

Cuernavaca: resultados microbiológicos del agua potable, 1991

	Muestras	Potables		No potables		Con coliformes	
		Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%
Julio	121	12	9.9	109	90.1	48	39.7
Noviembre-diciembre	80	14	17.5	66	82.5	0	-

Fuente: Sistema Alimentario de México, 1990.

GRÁFICA 2

Morelos: parámetros fisicoquímicos fuera de norma en el agua potable (Porcentajes)**Resultados fisicoquímicos y metales tóxicos**

La evaluación de la calidad fisicoquímica del agua muestra la existencia de seis parámetros fuera de norma, con diferencias estacionales importantes en el transcurso del año (véase el cuadro 4). Los niveles de contaminación aumentaron en el tiempo de estiaje, en particular durante el primer lavado del suelo, y se redujeron al final de las lluvias (véase la gráfica 2). Excepciones de esto último son el nitrógeno amoniacal (NNH_3) y el fosfato (PO_4), los cuales se incrementaron tal vez por la elevadas concentraciones de fertilizantes químicos aplicados durante la siembra (más de 100 000 toneladas anuales).

De los nueve metales tóxicos analizados, cinco rebasaron la norma en alguna época del año (véanse el cuadro 5 y la gráfica 3). Conforme aumenta la humedad, lo hace el contenido de hierro del agua.¹⁷

17. Salvador Aguilar Benítez, *Dimensiones ecológicas del estado de Morelos*, CRIM/UNAM, Cuernavaca, 1990.

CUADRO 4

Morelos: análisis fisicoquímicos del agua potable fuera de norma, 1989-1990

	Noviembre-diciembre de 1989			Abril de 1990			Julio de 1990			Norma
	Número de muestras	%	Nivel de contaminación	Número de muestras	%	Nivel de contaminación	Número de muestras	%	Nivel de contaminación	
Nitrógeno amoniacal	36	50.0	2.04	25	31.6	1.54	38	61.2	1.90	0.5
Sólidos totales	9	12.5	1 890.00	3	4.1	1 424.00	6	9.7	1 498.60	1 000.0
Dureza	16	22.2	534.30	19	24.0	453.10	9	14.5	588.90	300.0
Sólidos sedimentables	7	9.7	0.22	7	8.0	1.17	9	14.5	0.94	0.1
Sustancias activas al azul de metileno	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	1	1.6	0.67	0.5
Fosfatos	4	5.5	0.87	23	28.7	0.18	10	16.1	0.16	0.1

Fuente: Sistema Alimentario de México, 1989-1990.

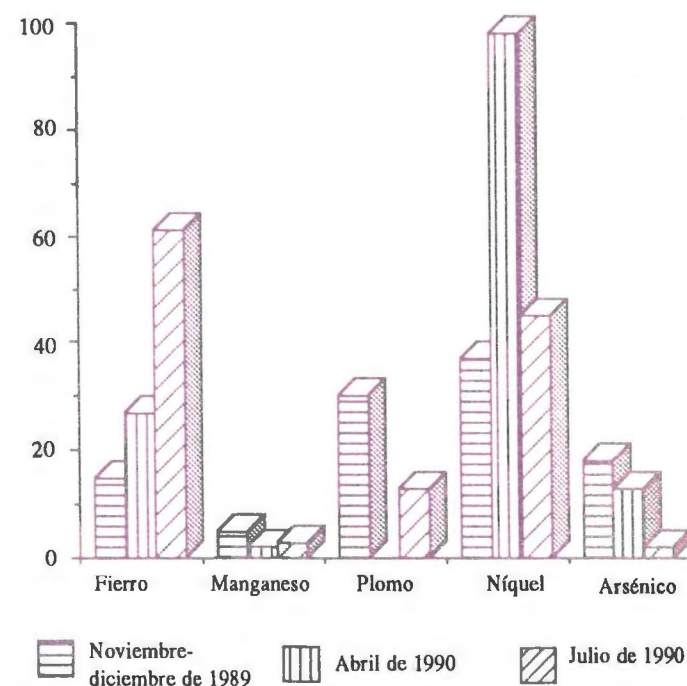
El suelo del estado de Morelos tiene cantidades importantes de ese metal; con el inicio de las lluvias, aparece un proceso de óxido-reducción que llega al acuífero. Además, tanto el fierro como el plomo son componentes de varios agroquímicos. Las fuentes con mayor concentración de plomo no se encuentran en las áreas rurales sino en las industriales, como la zona conurbada de la Cívica (Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca).¹⁸

Los niveles de níquel resultaron alarmantes, sobre todo porque las fuentes detectadas corresponden tanto al medio rural como al urbano. Dicho metal suele encontrarse combinado con fierro, cobalto, arsénico y azufre. Además, puede ocasionar daños al estómago, al sistema nervioso central y al miocardio, por lo que es imperioso eliminarlo del agua potable.

18. En un muestreo posterior durante las mismas épocas no se encontraron los mismos niveles altos de plomo (de 1.9 en promedio, cuando la norma permite 0.01), por lo que es probable que algún accidente industrial haya provocado tal concentración. Sin embargo, los efectos de ésta no son tan graves en virtud de que el plomo forma compuestos insolubles de tipo carbonatos y sulfatos.

GRÁFICA 3

Metales tóxicos fuera de norma en el agua potable de Morelos (Porcentajes)



CUADRO 5

Metales tóxicos en el agua potable de Morelos 1989-1990

	Noviembre-diciembre de 1989			Abril de 1990			Julio de 1990			Norma
	Número de muestras	%	Nivel de contaminación	Número de muestras	%	Nivel de contaminación	Número de muestras	%	Nivel de contaminación	
Fierro	10	13.8	0.79	21	26.5	1.84	38	61.2	0.58	0.30
Manganeso	3	4.1	0.17	1	1.2	1.3	1	1.6	1.60	0.15
Plomo	22	30.5	0.19	0	0.0	0.0	8	12.9	1.91	0.05
Níquel	26	36.1	0.05	79	98.7	0.08	28	45.1	0.02	0.01
Arsénico	12	16.6	0.07	9	11.3	0.07	1	1.6	0.11	0.05

Fuente: Sistema Alimentario de México, 1989-1990.

La presencia nociva del arsénico sólo se detectó en una zona, proveniente quizá de depósitos naturales lavados por las filtraciones o del uso intensivo de agroquímicos que se escurrieron por una pequeña falla geológica. De cualquier modo, la ingestión de arsénico en las concentraciones detectadas es muy riesgosa por tratarse de un cancerígeno que envenena piel, pulmones y estómago. Por esta razón, las autoridades clausuraron las fuentes de abastecimiento afectadas y se perforaron pozos nuevos.

En general, la calidad fisicoquímica del agua es pobre y 83% de las comunidades estudiadas presentaron por lo menos un parámetro fuera de norma. Hay pocas dudas de que la contaminación del agua doméstica se vincula tanto con el paquete tecnológico del ciclo agrícola cuanto con el manejo de los desechos industriales y humanos. Todos ellos generan contaminación antropogénica que se filtra en los mantos acuíferos, como en los casos del plomo, los nitrogenados, los fosforados, el arsénico, el níquel y los detergentes; el hierro, en cambio, proviene fundamentalmente de la contaminación natural.

Conclusiones

El agua para el consumo humano en Morelos muestra enormes deficiencias microbiológicas y fisicoquímicas. En términos generales no se puede considerar como agua potable, pues su contaminación con frecuencia rebasa los límites fijados en las normas sanitarias.

Ese problema no es exclusivo de la entidad, escenario como otras de múltiples procesos y fenómenos quebrantadores del ambiente (urbanización descontrolada, inmigración masiva, uso indiscriminado de agroquímicos, industrialización con empresas contaminantes, deforestación, una infraestructura hidráulica y sanitaria deficiente), por lo que esta investigación se puede considerar como un estudio piloto que se aproxima a la realidad general de todo el país.

El panorama se torna más sombrío si se considera que la crisis de los ochenta abatió la inversión en obras públicas, tanto en el mantenimiento de la infraestructura cuanto en la atención de las necesidades de una población creciente y en presurosa urbanización. Los costos sociales están a la vista: reaparecen enfermedades ya erradicadas, se multiplican las demandas sociales básicas insatisfechas y persiste la contaminación de los acuíferos.

Frente a esta última, las autoridades estatales de Morelos han instrumentado una estrategia amplia de solución que se podría complementar con algunas de las sugerencias que se proponen a continuación y que rebasan el ámbito de la entidad.

1) Los contaminantes microbiológicos se controlan con más facilidad que los fisicoquímicos y los metales tóxicos. Ante la reaparición del cólera, se instalaron sistemas de cloración en la capital

y las principales ciudades morelenses. Este proceso se automatizó y los cursos de capacitación correspondientes, junto con estímulos económicos que premian la eficiencia, pueden garantizar en poco tiempo un desempeño eficaz de las personas responsables del manejo del líquido vital.

Existen avances cualitativos importantes, como la eliminación de los coliformes fecales en el agua potable de Cuernavaca. No obstante, la red de distribución es en gran parte obsoleta y requiere de una renovación o reparación a fondo.

Para garantizar que el agua sea realmente potable es preciso, además, complementar la cloración con otras obras sanitarias (drenajes, plantas de tratamiento) que impidan la filtración de aguas negras hacia el acuífero y la red. Ello es de enorme importancia en los alrededores de Cuernavaca, donde urge integrar a las colonias marginales y dotarlas de infraestructura básica.

También es menester evitar la proliferación de colonias pobres en barrancas y otros lugares inadecuados, por lo cual es imperioso elaborar un plan regulador del uso del suelo en todo el estado que permita programar y asignar recursos a zonas de expansión habitacional, reservas ecológicas, tierras agrícolas y áreas industriales y recreativas.

En cuanto al mejoramiento de la calidad del agua en comunidades rurales y poblaciones pequeñas, es necesario formentar la participación democrática de los ciudadanos para erradicar vicios ancestrales, como el clientelismo en la distribución del agua entre los usuarios. Esto implica, además, un programa de educación ciudadana que puntualice los derechos y deberes de cada usuario. La privatización de los sistemas de abasto de agua potable no resuelve automáticamente esos problemas, pues es imprescindible contar con regímenes regulatorios apropiados.

Asimismo, es importante establecer un sistema permanente de análisis de la calidad microbiológica del agua, de preferencia a cargo de instituciones sociales o académicas autónomas, capaz de garantizar una supervisión estricta y objetiva.

2) Con respecto a la contaminación fisicoquímica, conviene atacar la fuente del problema. Ello implica establecer controles estrictos y permanentes sobre el manejo de los desechos industriales, así como promover que en la modernización del campo se apliquen técnicas de producción —agricultura orgánica— más saludables y afines con la protección del ambiente.

De conformidad con la Ley de Protección Ecológica, es factible cobrar los daños que causan los industriales. Gracias a los avances en los estudios isotópicos, se puede recurrir a la “memoria del agua” y determinar con cierta exactitud la fuente original de contaminación. Este método (poco conocido en México por falta de equipo e investigadores especializados) representaría una solución científica del problema. De hecho, se instrumentó en Morelos

para examinar la intercomunicación entre la cuenca del sur de la ciudad de México y la entidad.¹⁹

3) La población también contamina el acuífero. Para evitarlo es urgente educar a todos los grupos sociales, pues en la entidad persiste (igual que en muchas otras partes del país) el mal hábito de tirar la basura en ríos y barrancas. Este comportamiento refleja, sin duda, un sistema de recolección de basura deficiente, pero también una enorme ignorancia entre los ciudadanos. Con el fin de evitar este tipo de contaminación, se podrían aplicar las medidas siguientes:

i) organizar un sistema público de recolección de basura en las ciudades y pueblos;

ii) emprender campañas de limpieza de los ríos en que participen escolares, padres de familia y vecinos, lo cual reforzaría la educación cívica;

iii) instalar depósitos de basura en los lugares de acceso más frecuente a los ríos, para que las personas sin el servicio de recolección la puedan dejar allí, y

iv) difundir el modelo de selección de basura. En Alemania y otros países desarrollados la basura se convirtió de carga pública en recurso generador de ingresos. En las ciudades grandes se podría organizar la recolección en bicicleta de desechos seleccionados (papel, vidrio, plástico y metales), los cuales se pueden vender a los industriales para su reciclaje.

La basura que no es útil puede quemarse en plantas termoeléctricas. Los desechos orgánicos se podrían aprovechar para producir, en poco tiempo, fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno y menos dañinos para el ambiente. Tal modelo permite un aprovechamiento integral de la basura, así como la generación de empleos e ingresos y un mejor cuidado de los recursos naturales no renovables.

4) Todo lo anterior implica esfuerzos de coordinación entre distintos grupos y una sólida voluntad colectiva. Sin embargo, el mejoramiento del agua potable y el manejo racional del recurso hídrico necesitan obras costosas. Como en ciertas actividades y procesos industriales se pueden utilizar aguas de distintas calidades,²⁰ es factible plantear que las empresas correspondientes paguen costos diferenciales, en relación con el grado de contaminación, los requerimientos y la calidad del líquido.

De hecho, los pobladores de Morelos pagan la instalación, el mantenimiento y el uso del agua con faenas o aportaciones monetarias. Sería justo aplicar a los industriales el mismo criterio.

El reforzamiento de las inversiones públicas con capitales privados, así como con cuotas de los usuarios, permitiría planear mejor la construcción o renovación de la red de agua potable, los sistemas de alcantarillado, las instalaciones para la depuración de los afluentes y las plantas de tratamiento de aguas grises y negras.

Los lodos residuales de dichos procesos podrían utilizarse, una vez libres de elementos tóxicos, en la rehabilitación de tierras agrícolas erosionadas o empobrecidas por agentes químicos.

El agua reciclada se podría emplear en el riego de jardines y en diversos procesos industriales, agrícolas y domésticos, con lo cual se reduciría enormemente la demanda de agua potable.

En suma, el problema de la contaminación del agua rebasa con amplitud el terreno de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. El cuidado de los recursos hídricos es una tarea común que compete a:

■ *las autoridades federales* mediante leyes, reglamentos, vigilancia cabal, inversiones, educación cívica, voluntad política e impulso de procesos productivos protectores del ambiente del desarrollo científico-técnico;

■ *investigadores y técnicos* con supervisión, estudios, formación de recursos humanos, propuestas viables, evaluación y difusión de conocimientos;

■ *los habitantes* por medio de pagos, actividades de limpieza, nuevos hábitos culturales y la participación en la lucha contra la contaminación y en defensa de los recursos naturales;

■ *industriales y comerciantes* mediante el impulso de proyectos productivos respetuosos del ambiente, intercambios científico-técnicos internacionales para el uso racional de los recursos y el aprovechamiento de los estímulos fiscales contra la contaminación, y

■ *las autoridades estatales y locales* con la recolección de basura, obras de saneamiento, alcantarillado, depuración de afluentes, plantas de tratamiento, leyes y vigilancia de obras de construcción, reciclaje de desechos y aguas, capacitación ciudadana para evitar la contaminación y el aliento de la acción colectiva para mejorar el ambiente.

La meta es lograr un manejo integral del agua potable en el que la coordinación cabal de autoridades, industriales y ciudadanos garantice soluciones de fondo que protejan un recurso cada vez más escaso e íntimamente ligado con el progreso económico y, sobre todo, con el bienestar de la población. □

19. Alejandra Cortés y Eliseo Vázquez, "Frontera hidrogeológica entre la cuenca de México y los valles de Morelos", *El recurso agua en el estado de Morelos*, CRIM/UNAM, Cuernavaca, en prensa.

20. Una embotelladora, por ejemplo, necesita agua totalmente potable, mientras que en un proceso de enfriamiento externo se puede emplear agua de menor calidad.