

# Tratamiento y Calidad del Agua

## Calidad del agua

Se determinó la calidad del agua del río Suchiate, Chis., desde la confluencia con el río Izapa y hasta el poblado de Miguel Alemán, a lo largo de 41 km. El estudio se realizó a través de un análisis multiparamétrico, que incluyó la calidad microbiológica, química, y la determinación de la toxicidad. Se efectuó una medición de caudales en 21 estaciones y se calcularon los índices de calidad del agua del río. Las descargas de agua residual de Tescaltic, Frontera Hidalgo y Ciudad Hidalgo no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos para DBO, SST, grasas y aceites, nitrógeno total, coliformes fecales y huevos de helmintos. En el río Suchiate y sus afluentes se encontraron concentraciones elevadas de nitrógeno amoniacal, fósforo y SAAM, que rebasan los valores recomendados en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, de 0.06, 0.1 y 0.1 mg/l, respectivamente. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal y fósforo son uniformes a lo largo del río (0.22 y 0.52 mg/l, respectivamente), mientras que la concentración de SAAM se triplica de 0.1 a 0.34 mg/l a lo largo del recorrido, al parecer por efecto de su uso para lavado de ropa.



MUESTREO EN EL RÍO SUCHIATE, CHIS.

Se realizaron seis muestreos en las bahías de Acapulco y de Puerto Marqués, Gro., así como cuatro inspecciones a los arroyos Aguas Blancas, Camarón y Garita. Las concentraciones de coliformes fecales en julio, que marca el inicio de la temporada de lluvias y de máxima contaminación bacteriana, disminuyeron hasta cuatro órdenes de magnitud con respecto al año anterior, presumiblemente como consecuencia de las medidas de saneamiento emprendidas por el ayuntamiento en los arroyos de la cuenca.

Por otro lado, la calidad del agua de la bahía de Todos Santos, Ensenada, B.C., ha mejorado con respecto al periodo 1999-2000, debido a que las concentraciones de nitrógeno total y de nitratos, fósforo, grasas y aceites, DQO y coliformes fecales han disminuido en el periodo 2001. En los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad se cumplieron, en todos los parámetros, los límites máximos permisibles de la NOM-ECOL-001-1996 *Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Sin embargo, en la planta El Sauzal se detectaron fallas en el sistema de cloración del efluente, de modo que el 15% de las muestras puntuales rebasa el límite promedio establecido para coliformes fecales de 2000 medido como NMP/100 mililitros.

Con respecto al tratamiento de aguas residuales mediante fotocatalisis, se estudiaron el mejoramiento de catalizadores y la distribución del flujo radiativo dentro del reactor. En el primer caso, se prepararon catalizadores, basados en la modificación por impurificación y sensibilización del dióxido de titanio, a fin de mejorar su eficiencia en los procesos de degradación de contaminantes traza en agua. El estudio de la distribución del flujo de radiación dentro del fotorreactor para varias geometrías de colección solar por medio, tanto de modelos matemáticos como de procesos experimentales, permiti-

tió proponer modelos cinéticos para la descripción del proceso de fotocátalisis.

## Potabilización

Se integró el primer Inventario Nacional de Plantas Desaladoras, con registros de 171 plantas que suman una capacidad instalada de 67,487 m<sup>3</sup>/d. Sin embargo, sólo opera el 77.6% de la capacidad total, con lo que se obtienen 52,340 m<sup>3</sup>/d de agua potable. Quintana Roo es el estado que tiene mayor número de plantas, con el 44.4% del inventario. El proceso de desalación que predomina en México es el de ósmosis inversa que aunque es de alto costo de inversión, presenta los menores costos por metro cúbico producido, los cuales varían entre 3.20 y 6.10 \$/m<sup>3</sup>, para agua de mar.

A través de un enfoque sistémico del uso eficiente del agua, se desarrolló y adaptó un modelo matemático de optimización, cuyo objetivo es minimizar los volúmenes proporcionados por las fuentes de abastecimiento de agua potable a la población. Este modelo considera los chorros obtenidos por recirculaciones, tratamiento y reúso, así como prácticas de uso eficiente que involucra a usuarios municipales y agrícolas. La validación del modelo se llevó a cabo en Puebla, Pue. Los resultados se obtuvieron mediante la generación de escenarios que consideran diversas acciones en el tiempo, como son: programas de reducción de fugas, reúso de agua tratada, infraestructura futura, nuevas fuentes de abastecimiento y prácticas de uso eficiente. Los resultados indicaron ahorros hasta del 35% del agua obtenida del



PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA REMOCIÓN DE MANGANESO EN CD. CAMARGO, CHIH.



PLANTA DESALADORA POR COMPRESIÓN DE VAPOR EN COZUMEL, Q.R.

acuífero del valle de Puebla, lo que significa que la sobreexplotación del mismo podría disminuir de 36 a 23.5 millones de metros cúbicos al año.

Se realizaron pruebas de tratabilidad para la remoción de manganeso en Ciudad Camargo, Chih., aplicando la tecnología desarrollada por el IMTA consistente en un proceso de adsorción-oxidación sobre zeolita natural. Se utilizó una planta potabilizadora móvil que operó en las fuentes de abastecimiento Las Cuatas y La Herradura en un proceso continuo durante 69 y 47 h, respectivamente. Para ambas fuentes, se obtuvo una eficiencia de remoción mayor de 95% y concentraciones promedio en los efluentes menores de 0.05 mg/l de manganeso, con lo que se asegura estar por debajo del límite máximo permisible de 0.15 mg/l que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1997, *Salud Ambiental. Límites máximos permisible que debe cumplir la agua para uso y consumo humano y los tratamientos a que debe someterse para su potabilización.*

A solicitud de la CNA, se elaboró el diagnóstico de la problemática de prestadores de servicios de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos. Los resultados indican que la población percibe que el servicio es deficiente y que los organismos operadores enfrentan problemas técnicos y económicos para el cumplimiento de la normativa. En materia de normativa de calidad del agua, la NOM-179 *Vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento públicos*, no entra aún en vigor. Existen deficiencias en la infraestructura de laboratorios y los costos de análisis para pequeños organismos resultan altos.

Se llevaron a cabo reuniones para promover y capacitar sobre la aplicación de la tecnología de desinfección solar en cinco localidades de Chiapas, en las que participaron el Instituto Nacional Indigenista, la Secretaría de Salud y cuatro organismos no gubernamentales. En particular, se realizaron talleres de construcción de concentradores solares y de capacitación para su uso. Los resultados de los análisis bacteriológicos muestran que el método resultó altamente eficiente para la remoción de microorganismos patógenos presentes en el agua, aún en días nublados, principalmente cuando el usuario los aplicó en forma adecuada.

### Tratamiento de aguas residuales

A solicitud de Pemex, se realizaron muestreos y pruebas de tratabilidad de las aguas residuales generadas por la refinería Francisco I. Madero, Tam. Se estudiaron los procesos de flotación natural para separación preliminar del aceite y de coagulación-floculación seguida por flotación natural y por flotación con aire disuelto. En la separación preliminar por flotación natural, se logró una remoción del aceite de entre 93 y 98% con una carga superficial de 0.94 a 2.30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h y un tiempo de retención de 75 a 120 min. La separación secundaria mediante coagulación-floculación y flotación con aire disuelto, permite obtener un efluente con menos de 10 mg/l de grasas y aceites que constituye más del 99.5% de remoción.

El contenido de DQO y los demás contaminantes en el efluente es bajo y satisface los requerimientos solicitados por la planta tratadora, así como los criterios de reúso para riego de áreas verdes. El rompimiento de la emulsión se logró satisfactoriamente usando combinaciones de coagulante mineral (sulfatos de aluminio o cloruro férrico) y polímeros, así como aplicando polímeros de alto peso molecular y densidad de carga mediana. En el segundo caso, se determinó la gran ventaja de formar dos veces menos lodos y de tener además un costo unitario de tratamiento menor. Con base en estos resultados, se determinaron los parámetros de diseño y se elaboró el diseño conceptual de las unidades de tratamiento. Una meta adicional fue dar soluciones a la refinería para el control de la contaminación en época de lluvias y huracanes, para lo cual se determinaron los escurrimientos pluviales y se llevó a cabo el análisis estadístico de los datos de precipitación de las 14 estaciones climatológicas que se encuentran en un radio de 50 km y de cinco pluviógrafos que se instalaron en diferentes puntos de la refinería. Con base en los caudales determinados, se diseñó el sistema de manejo racional del agua pluvial y la instalación de dispositivos de control de la contaminación en época de lluvia. Finalmente se realizó una estimación del costo del sistema de tratamiento y del control de la contaminación en esta temporada.

A solicitud de la CNA, se analizaron tres subramas representativas de la industria química básica (petroquímica, química orgánica e inorgánica) en relación con el uso



SEPARADORES DE ACEITES EN REFINERÍAS



TECNOLOGÍA DE VERMIESTABILIZACIÓN

y manejo del agua, así como la generación de aguas residuales y su tratamiento. Se identificó que el agua se usa principalmente para enfriamiento y para generación de vapor, en los procesos de producción y en los servicios. Las aguas residuales generadas en estas subramas son en su mayoría muy contaminantes y con alta toxicidad debido a la presencia de compuestos orgánicos volátiles y moléculas recalcitrantes. Además presentan, en algunos casos, alto contenido de materia orgánica,

grasas y aceites, sulfuros, cianuros y otros metales pesados y alta salinidad. Muchos de estos contaminantes no están considerados en la normatividad vigente. Los trenes propuestos para el tratamiento de estas descargas son específicos de acuerdo con el proceso de producción y la situación particular de la industria. Para la remoción de metales pesados los trenes incluyen neutralización y homogeneización, precipitación, filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa para el cumplimiento de la cali-

dad para descarga y reúso o ambos. Para los compuestos orgánicos se proponen oxidación química, procesos biológicos de carbón activado pulverizado, oxidación supercrítica y captura de compuestos orgánicos volátiles, ósmosis inversa e intercambio iónico, o ambos, como procesos terciarios. Cuando es posible se recomienda el tratamiento biológico. Para la remoción de grasas y aceites se sugieren sistemas de flotación por aire disuelto o separadores de placas paralelas. Los lodos generados en los tratamientos bioquímicos deberán tratarse mediante confinamiento controlado, incineración u oxidación supercrítica. Se determinó que el costo del tratamiento de aguas residuales generados por la industria química básica es mucho mayor que el derecho de descarga contemplado en la Ley Federal de Derechos.

Con la finalidad de pulir los efluentes de lagunas de estabilización que ocasionan disminución del OD al ser descargados en cuerpos receptores sensibles, se estudió la aplicación de una macrófita flotante endémica del país, conocida como chichicastle o lenteja de agua (*Lemna gibba*). La investigación se realizó en una laguna con mamparas. La calidad del agua caracterizada a través de la DBO, fue menor a 10 mg/l y como NMP de coliformes fecales por 100 ml fue menor a mil. Estos resultados indican que es posible cumplir con la calidad bacteriológica, así como de la materia orgánica, en una misma laguna promoviendo en primer lugar el crecimiento de algas y utilizando después la lenteja de agua para remover la DBO algal que se genera, utilizando mamparas para incrementar la eficiencia hidráulica y mantener a la lenteja de agua dentro de las zonas de tratamiento. El alto valor proteico de la lenteja posibilita su uso como abono verde y forraje en sistemas de agricultura y acuacultura integrados al sistema de tratamiento. Adicionalmente, el uso de dicha macrófita permite eliminar el uso del cloro como reactivo para lograr la desinfección del agua.

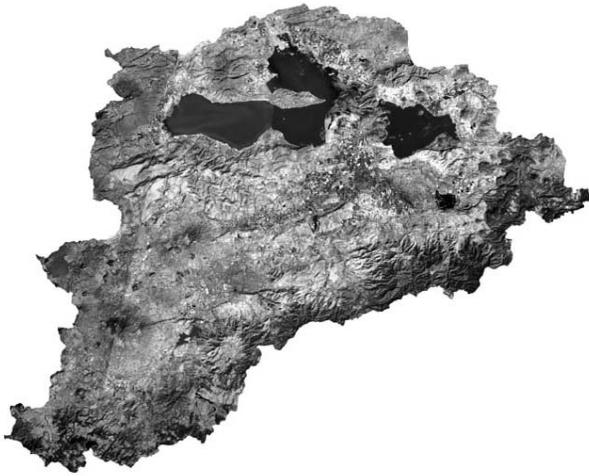
El diagnóstico realizado en seis localidades de la península de Yucatán indica que la mayor parte de la población urbana y rural está asentada en zonas kársticas, donde la vulnerabilidad del acuífero es de alta a extrema. El bajo grado de saneamiento, con una cobertura de alcantarillado del 0 al 53% y de tratamiento del 0 al 25%, propicia que en la península se tenga la más alta incidencia de enfermedades diarreicas y parasitarias del país. Por encargo de la CNA, se seleccionaron esquemas de tratamiento descentralizado en el ámbito domi-

ciliario de las poblaciones urbanas. Los arreglos diseñados son: tanque séptico y campo de infiltración, tanque séptico y filtro intermitente de arena, digestor anaerobio con humedal de flujo subterráneo y laguna de maduración y planta paquete de aireación intermitente. Con este tipo de sistemas domiciliarios se prevé disminuir la contaminación orgánica en núcleos urbanos en al menos el 80% de la carga orgánica aportada con la consecuente disminución de aporte de contaminantes al acuífero.

Para lograr un manejo sustentable de los lodos residuales que se generan en las plantas de tratamiento ubicadas en la ribera del lago de Chapala, se instaló en una de ellas un sistema de vermicomposteo con lodos residuales. Debido a que en algunos sitios del lago, uno de los problemas graves es el exceso de lirio acuático, se realizaron pruebas adicionales con lodo y lirio acuático. El propósito de estas pruebas fue determinar las diferencias entre el manejo del sistema con el lodo residual y con la mezcla de lodo y lirio acuático. Se instalaron dos módulos de vermicomposteo: uno que sirvió como testigo en donde se adicionó lodo residual y otro con la mezcla de lodo y lirio acuático. La estabilización del producto en ambos casos se logró a los 23 días. Con la mezcla de lodo y lirio acuático la remoción de sólidos lograda fue del 30%, valor menor que el que se logró con el lodo residual solo, con el que la reducción fue del 39%. La reducción con la mezcla lodo y lirio acuático es menor y más lenta debido a la presencia de materiales con alto contenido de lignina en las raíces de estas plantas.

## Hidrobiología y evaluación ambiental

Se evaluó la contaminación difusa en la cuenca del lago de Cuitzeo, que abarca un área aproximada de 3,943 km<sup>2</sup>, que incluye al distrito de riego 020 Morelia Queréndaro y a la ciudad de Morelia, Mich. Los resultados obtenidos con 29 años de registros climatológicos, indicaron que dos tercios del nitrógeno total es aportado por las fuentes puntuales y el resto por las difusas. En cuanto al fósforo total las fuentes puntuales aportan el 63% y las difusas el 37%, de estas últimas, las localidades con baja cobertura de drenaje aportan el 64%, la agricultura de riego y temporal el 30%, el agua subterránea el 5% y el 1% corresponde a los restantes usos. Morelia aporta 1,115 toneladas anuales de nitrógeno total y 201



MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO

toneladas anuales de fósforo total al río Grande de Morelia, y en total las fuentes puntuales incorporan 1,296 y 233 toneladas de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Se determinó que el lago de Cuitzeo recibe una carga anual de fósforo por unidad de área de  $0.93 \text{ g/m}^2$ , lo cual lo ubica como un cuerpo en estado hipereutrófico.

Al plantear el escenario de la entrada en operación de una planta de tratamiento para Morelia con remoción de nutrientes y eficiencia del 80%, la ciudad aportaría 223 y 40 toneladas de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Lo anterior podría revertir la contribución de contaminantes por fuentes puntuales; es decir, las fuentes difusas contribuirían con el 62% y las puntuales con el 38%. Res-



RÍO GRANDE DE MORELIA, MICH.

pecto al fósforo, el comportamiento sería similar, dado que las fuentes puntuales aportarían el 34% y las difusas el 66%, además la carga de fósforo al lago se reduciría a  $0.173 \text{ g/m}^2/\text{año}$ , lo que permitiría que el lago pasara a un estado de transición entre eutrófico y oligotrófico.