

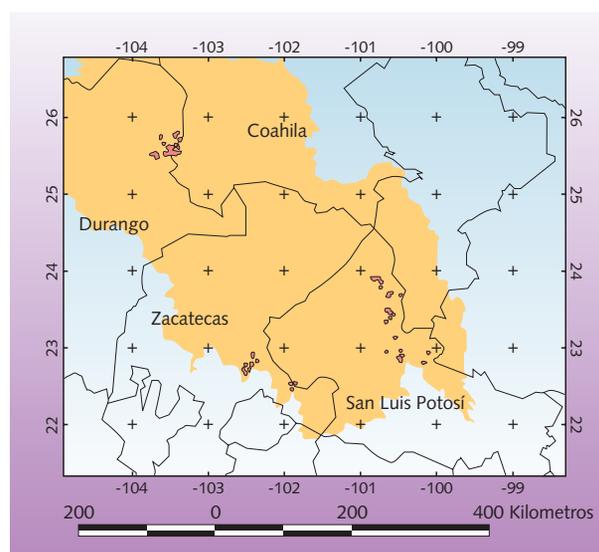
Tratamiento y Calidad del Agua

Calidad del agua

A petición de la SGT de la CNA, se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento en acuíferos de la región centro-norte del país, mediante muestreos en noventa pozos de La Laguna, Zacatecas y San Luis Potosí. Se analizaron parámetros como conductividad, pH, dureza, sólidos disueltos, fosfatos, cloruros, sulfatos y arsénico. En algunos casos se analizaron adicionalmente fluoruros, manganeso, plomo y mercurio. Los resultados mostraron que el agua de mejor calidad de las zonas estudiadas se encuentra en los pozos de Torreón, ya que en el 88% de los analizados se cumple con los límites que marca la norma 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*. En Gómez Palacio y Lerdo, Dgo., en el 17% de los pozos analizados se cumple con los límites marcados en la citada norma, si bien se rebasó el límite máximo permisible de dureza en el 38%, el de sulfatos en el 19%, el de manganeso en el 14% y el de arsénico en el 23%. En Zacatecas, el agua proveniente del 37% de los pozos evaluados cumple con la norma de referencia. En el 40% de ellos se detectaron concentraciones de fluoruros mayores a los límites permisibles, mientras que en el 53% se rebasa el límite permisible para el arsénico. En este último aspecto, destacan los pozos 13, 14 y 16 del sistema San Ramón, que presentan concentraciones diez veces mayores al límite máximo permisible de 0.4 mg/l. En San Luis Potosí, en el 24% de los pozos se cumple con los límites es-

tablecidos en la multicitada norma. Se determinó la existencia de valores elevados de dureza y sulfatos en el 53 y 50% de los pozos analizados, respectivamente. En cuanto al arsénico, siete de los 32 pozos rebasaron el límite permisible para agua potable. En el estudio se concluye la necesidad de ablandamiento en el 50% de todos los pozos estudiados, lo que permitirá colateralmente disminuir el riesgo de exposición de la población a arsénico. Asimismo, se recomendaron alternativas para la remoción de contaminantes específicos.

Debido a la importancia que tiene contar con mediciones confiables de la calidad del agua, la SGT determinó trabajar en la acreditación de sus laboratorios. En una primera etapa, el IMTA trabajó en cuatro laboratorios regionales y dos estatales. Para esto, se proporcionó asesoría en la adecuación e implantación de un sistema de calidad que cum-



LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN ACUÍFEROS DE LA REGIÓN CENTRO-NORTE DEL PAÍS



DIÓXIDO DE TITANIO DEPOSITADO EN VIDRIO COMO CATALIZADOR

pla con la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000: *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*, en cada uno de los laboratorios. También se realizó la evaluación de cada laboratorio para verificar la aplicación del sistema de calidad desarrollado, determinándose que éstos se encuentran aptos para ser acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación.

En estudios experimentales de desinfección solar, se comparó la eficiencia de la desinfección ultravioleta contra la desinfección asistida por dióxido de titanio depositado en vidrio como catalizador. Los resultados mostraron que una exposición al sol de una hora con dióxido de titanio depositado en vidrio es suficiente para la remoción de altas concentraciones de coliformes fecales (10^9 medido como UFC/100 ml), sin que haya recrecimiento por parte de éstos, una vez terminada la exposición. El sistema demostró ser cien veces más eficiente que la exposición al sol sin catalizador. El catalizador dióxido de titanio depositado en vidrio, material desarrollado en el IMTA, ha resultado ser más eficiente para la desinfección del agua y más resistente que otros materiales similares consignados en la literatura.

Potabilización

A solicitud de la empresa austriaca Va Tech Wabag, se evaluó la eficiencia de una planta compacta de potabilización de operación automatizada, basada

en una membrana de nanofiltración. La planta se operó con caudal promedio de 50.1 l/h. Se estudiaron tres fuentes de agua de diferente calidad, dos de la ciudad de México (pozo de Iztapalapa y red de la delegación Gustavo A. Madero) y el pozo del IMTA. La planta demostró ser eficiente en la remoción de coliformes fecales y totales llegando hasta el 100% y cumpliendo con la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-180-SSA1-1998: *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipo de punto doméstico. Requisitos sanitarios*. Para determinar la remoción de *Salmonella spp.* se realizaron cuatro pruebas con agua sintéticamente inoculada con este microorganismo. La remoción resultó adecuada, ya que no se detectó su presencia en el efluente.

Por encargo de la SGC de la CNA, se desarrolló un estudio de la problemática de los prestadores de servicios de agua potable en torno a la vigilancia y control de la calidad del agua para uso y consumo humano. En este sentido se llevaron a cabo diversas actividades entre las que destaca un taller sobre análisis de las normas oficiales mexicanas en materia de agua potable. Al taller asistieron representantes de 15 organismos operadores, de instituciones educativas, personal de la CNA, Ssa y la ANEAS. Las principales conclusiones del proyecto giraron alrededor de los aspectos técnicos y de factibilidad de implementación y cumplimiento de la normativa. Entre ellas se encuentra la necesidad de modificar el actual esquema normativo, adecuando la frecuencia de monitoreo de acuerdo con el tamaño de



PLANTA POTABILIZADORA VA TECH WABAG

los organismos operadores, el número y tipo de fuentes de abastecimiento y los problemas prioritarios de contaminación. También se recomendó incluir en esta modificación a las zonas rurales y urbano-marginales, estableciendo claramente las tareas, atribuciones y responsabilidades de cada una de las instituciones involucradas en el abastecimiento de agua. Asimismo, la modificación a la normativa deberá incluir mayor flexibilidad en el tiempo para el cumplimiento de la misma.

Se elaboraron, para la SGAA de la CNA, ocho manuales de autocapacitación de la "Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua". La serie consta de 16 manuales y sus respectivas presentaciones complementarias. Los títulos de los manuales elaborados en 2002 son: *Análisis de toxicidad en el agua*, *Toma y conservación de muestras de agua residual en emisores submarinos*, *Identificación de sistemas de desinfección de aguas residuales*, *Características y efectos de los residuos peligrosos*, *Identificación de sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales*, *Identificación de los sistemas terciarios de tratamiento de aguas residuales*, *Identificación de sistemas de tratamiento de lodos residuales e Inspección en fosas sépticas y letrinas*.

Para el monitoreo de los parámetros de control de calidad del agua en la planta potabilizadora para la remoción de hierro y manganeso del ramal Peñón-Texcoco, se elaboraron, a solicitud de la Gravamex, los manuales de quince técnicas analíticas, tanto por métodos comercializados como normalizados.



PLANTA DE REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO DEL RAMAL PEÑÓN-TEXCOCO

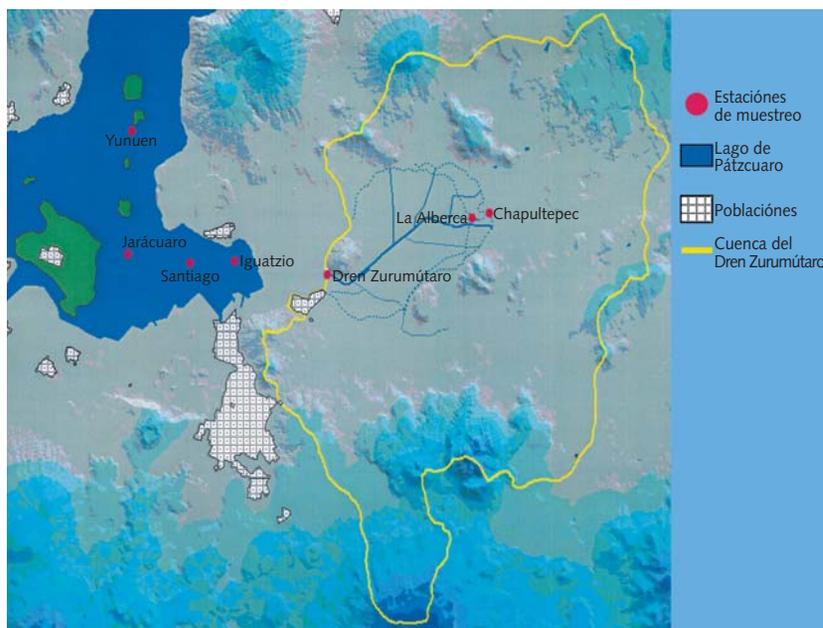


FILTROS DE ZEOLITA NATURAL

Asimismo, se definió una técnica para determinar la evolución del material de contacto (zeolita), la metodología para el control de calidad del laboratorio y la del muestreo y llenado de formatos. Adicionalmente, se capacitó al personal de operación de la CNA en el muestreo y operación de la planta. Por otra parte, se determinó que la eficiencia media diaria de remoción de manganeso fue del 94%, que cumple con el límite especificado en la NOM-127-SSA1-1994.

Hidrobiología y evaluación ambiental

Se realizó un estudio de la calidad del agua que aporta el dren Zurumútaro al lago de Pátzcuaro. El aporte promedio de nitrógeno y fósforo al dren y al lago es de 54.63 y 6.42 t anuales, respectivamente, lo que corresponde al 7.9% y 14.9% del nitrógeno y fósforo de toda la cuenca. Todos los nutrientes aportados al dren provienen de fuentes no puntuales. Los valores del Índice de Calidad del Agua en el dren Zurumútaro oscilaron entre el 66 y el 72%, lo que indica que el agua es apta para riego agrícola. La aplicación de plaguicidas durante 2002 se estimó en 864 kg de atrazina, 136 kg de dicamba y 33 kg de bromoxinil. No se detectaron metales ni plaguicidas en agua. A partir de la evaluación de los cuatro sitios de observación para la aplicación de las guías de calidad del agua, se concluye que tanto los sedimentos como los residuos animales y los nutrientes a lo largo del dren le confieren condiciones regulares de calidad al agua. Sin embargo,



CUENCA DEL DREN ZURUMÚTARO

mos acuáticos resultó de alto impacto. Se estima que el aporte de nutrientes originado por la erosión de suelos, en la época de avenidas, provocaría la eutroficación del embalse, por lo que será necesario realizar prácticas conservacionistas en la zona de Peña Blanca. También se encontraron especies de algas que podrían taponar los filtros de los sistemas de potabilización. Como medidas de mitigación adicionales se identificaron acciones de registro y salvamento tanto de especies con estatus de conservación, como de vestigios arqueológicos en sitios señalados por el INAH, así como la indemnización por tierras afectadas y la restitución de bienes, además de la integración del proyecto al Plan de Manejo de la Reserva de la Biósfera. Asimismo, se recomendó dar seguimiento a los cambios en la calidad del agua y en el fitoplancton para evitar problemas en los procesos de potabilización y suministro de agua.

se recomienda establecer medidas para el control del aporte de sedimentos del pastoreo que afecta la calidad del agua y que aporta nutrientes al sistema y de los nutrientes aportados por la cuenca y los retornos agrícolas.

Para la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro se llevó a cabo el estudio de impacto ambiental por la construcción de la presa Extóraz. La presa está proyectada para el abastecimiento de la ciudad de Querétaro y las localidades de Cadereyta, Bernal, Ezequiel Montes y Colón. Con la entrada en operación de esta obra se pretende desincorporar pozos y recuperar el acuífero de Querétaro. El análisis del proyecto muestra que el embalse cubrirá una superficie de 366 ha, que afectará principalmente a los municipios de Pinal de Amoles y San Joaquín. El 50% de la superficie por inundar es de uso agrícola extensivo con escasas áreas de riego y cultivos frutales perennes. La zona del proyecto comprende principalmente áreas de matorral submontano con vegetación secundaria. El 10% de la superficie total se ubica en áreas conservadas de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, afectando la zona de amortiguamiento y dos zonas núcleo, por lo que el área de influencia del proyecto presenta cualidades estéticas y paisajísticas que resultaron con alto impacto. De igual forma, la fragmentación de los corredores biológicos y de la distribución de organis-

mos acuáticos resultó de alto impacto. Se estima que el aporte de nutrientes originado por la erosión de suelos, en la época de avenidas, provocaría la eutroficación del embalse, por lo que será necesario realizar prácticas conservacionistas en la zona de Peña Blanca. También se encontraron especies de algas que podrían taponar los filtros de los sistemas de potabilización. Como medidas de mitigación adicionales se identificaron acciones de registro y salvamento tanto de especies con estatus de conservación, como de vestigios arqueológicos en sitios señalados por el INAH, así como la indemnización por tierras afectadas y la restitución de bienes, además de la integración del proyecto al Plan de Manejo de la Reserva de la Biósfera. Asimismo, se recomendó dar seguimiento a los cambios en la calidad del agua y en el fitoplancton para evitar problemas en los procesos de potabilización y suministro de agua.

Dentro de la actualización del estudio de clasificación del río Turbio, Gto., solicitado por la SGT, los parámetros fisicoquímicos que excedieron los límites permisibles marcados por la norma NOM-001-ECOL-1996: *Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales* fueron: sólidos suspendidos totales, cloruros, sulfatos, sulfuros, grasas y



VISTA DEL RÍO EXTÓRAZ, ZONA INUNDABLE POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA

aceites, detergentes, cromo hexavalente, nitrógeno amoniacal, fósforo total y coliformes fecales. La DBO en el río y sus afluentes oscila entre 123 y 6,200 mg/l, respectivamente, mientras la DQO es de 2,860 mg/l. Las pruebas de toxicidad aplicadas presentaron valores de hasta 4.33 UT, por lo que el agua del río se clasificó como altamente tóxica. La descarga proveniente de la planta de tratamiento de León, Gto., no cumple en nitrógeno total, sólidos suspendidos y coliformes fecales. Las tenerías Pieles Curtidas del Centro y Suelas Wyny, cumplen sólo con fósforo total y su descarga combinada no cumple con ningún parámetro de la norma, y es además la más tóxica. La capacidad de asimilación del río está sobrepasada por la carga contaminante que es aportada por las descargas. El río Turbio podrá recuperar sus niveles normales de oxígeno disuelto si se eliminan los sulfuros, que son los principales responsables de captar el oxígeno al transformarse en sulfatos. Para uso en riego restringido, se requiere disminuir el nitrógeno amoniacal, el cromo hexavalente y los coliformes fecales. Los parámetros a controlar en las descargas a través de las condiciones particulares de descarga son: sulfuros, cloruros, detergentes, cromo hexavalente y sulfatos.

Tratamiento de aguas residuales

A petición de la SGC y con el fin de emitir recomendaciones para el diseño de plantas de aguas residuales, ante la variación en el tiempo del gasto y de la calidad del influente, se determinó la sensibilidad de los criterios empleados en el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y los valores de parámetros de diseño y rangos de operación para diferentes elementos de una planta de tratamiento. Entre los elementos analizados se encuentran: rejillas, canales desarenadores, sedimentadores primarios y secundarios (circulares y rectangulares) y tanque de contacto de cloro. Adicionalmente, se analizaron los siguientes procesos de tratamiento: biodiscos, filtros rociadores, lodos activados convencional, lagunas aireadas y zanjas de oxidación. La sensibilidad de los trenes de tratamiento formados para dichos procesos se determinó mediante simulación y observando la variación en el tiempo de la DBO

y los SST para cada unidad. Con base en los resultados, se considera que los sistemas de tratamiento más confiables para recibir sobrecargas de contaminantes son, en el siguiente orden: zanjas de oxidación, lodos activados convencional, filtros rociadores, biodiscos y lagunas aireadas.

Por encargo de la SGC, se plantearon opciones de tratamiento de aguas residuales que permitan la obtención de agua que pueda ser utilizada como fuente para primer uso. En la planta piloto de tratamiento avanzado del IMTA se realizó la simulación física de diversos trenes, evaluando la calidad del agua después de cada uno de los procesos unitarios aplicados. Se experimentaron sistemas de tratamiento que incluyeron tanto procesos biológicos convencionales (lodos activados, filtro percolador y biodisco), como procesos biológicos avanzados con remoción simultánea de carbono y nitrógeno, filtración, adsorción y desmineralización. Se probaron tres alternativas de desmineralización en forma paralela: el intercambio iónico, la ósmosis inversa y la electrodiálisis. Se evaluaron también tres formas de desinfección: cloración, ozonación y exposición a luz UV. Se realizó una simulación utilizando paquetes de cómputo obteniendo condiciones de diseño y una estimación de los costos de las diferentes opciones de tratamiento. Los procesos biológicos estudiados permitieron obtener remociones de materia orgánica mayores al 80%. Los mejores resultados (hasta 96% de remoción) se obtuvieron con el sistema de lodos activados. La remoción de amoniacal obtenida en el sistema con biomasa suspen-



BATERÍA DE DIEZ REACTORES DISCONTINUOS

didada fue mayor al 95% y la de nitrógeno total se determinó en un 80%, obteniéndose una remoción simultánea de DQO del 88%. La filtración aplicada a los efluentes secundarios presentó eficiencias de remoción de SST y turbiedad del 70 al 82%, obteniéndose también una remoción de DQO y amoníaco del 30 al 40%. La efectividad de los tres procesos de desmineralización evaluados fue similar, sin embargo la mayor reducción de microorganismos correspondió a los procesos de ósmosis inversa y electrodiálisis. La combinación de todos los procesos biológicos con los tratamientos avanzados permite obtener agua apta para reuso potable indirecto. Se estimó que los costos de las opciones de tratamiento estudiadas implicarían costos unitarios del agua recuperada entre 4.6 y 6.0 pesos /m³, dependiendo de las características de las aguas residuales. La adición de tratamiento avanzado después de los sistemas biológicos convencionales incrementa de 2.3 a 3.3 veces el costo unitario del tratamiento. La tecnología de tratamiento de agua disponible actualmente en México permite implementar programas de recuperación de agua para uso urbano y recarga de acuíferos. Considerando los costos actuales de agua de primer uso, la implementación de sistemas de recuperación del agua para recarga de acuíferos parece ser atractiva sólo en zonas con un déficit extremo de agua.

La industria petroquímica genera aguas residuales que requieren tratamiento antes de su vertido a los cuerpos receptores. Para la fabricación de derivados del policloruro de vinilo se generan aguas residuales con altas concentraciones de compuestos orgánicos tóxicos del tipo de los derivados clorados, principalmente 1-2 dicloroetano y cloruro de vinilo, entre otros. A petición de Pemex Petroquímica, se realizaron pruebas de tratabilidad para definir los porcentajes de este tipo de descarga que pueden ser tratados en plantas existentes de tipo biológico, sin afectar su funcionamiento normal. Para esto se instalaron dos baterías de sistemas experimentales, simulando las condiciones reales de operación, consistentes en diez reactores discontinuos. La biomasa se adaptó paulatinamente y bajo las condiciones específicas del estudio, no se presentó inhibición en la actividad microbiana ni reducción en las eficiencias de los procesos biológi-



PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

cos, al adicionar en forma controlada porcentajes de agua residual tóxica. Se concluyó que el incremento en la mezcla de agua residual del complejo petroquímico estudiado debe hacerse en porcentajes máximos del 5% y con periodos de aclimatación de biomasa de 16 días. Además, se recomienda controlar la concentración de algunos parámetros en el agua residual que se enviará a los sistemas de tratamiento, ya que su presencia puede causar inhibición del proceso biológico y afectar su funcionamiento.

Se trabajó con diferentes métodos para la reducción de color y para el tratamiento de un efluente que contenía el colorante diazo naranja ácido 24, fabricado para su uso en la tinción de telas sintéticas y pieles. Se realizaron pruebas de oxidación química utilizando el proceso de Fenton y pruebas fúngicas con dos hongos basidiomicetos, ya que su sistema enzimático es capaz de despolimerizar y mineralizar una variedad de compuestos recalcitrantes que causan problemas de contaminación al ambiente. Se monitorearon las pruebas de degradabilidad con la medición de DQO, carbón orgánico total, concentración de color y toxicidad. Para un agua residual sintética con 1,000 mg/l de colorante, la oxidación fúngica logró una remoción promedio de 68% del colorante con *Pleurotus ostreatus* y de 75% con *Phanerochaete chrysosporium*. La toxicidad se disminuye en 62% con el primero y en un 40% para el segundo. Se determinó además que si el proceso biológico se acopla con un proceso químico la remoción global de color alcanzaría el 99.9 por ciento.