

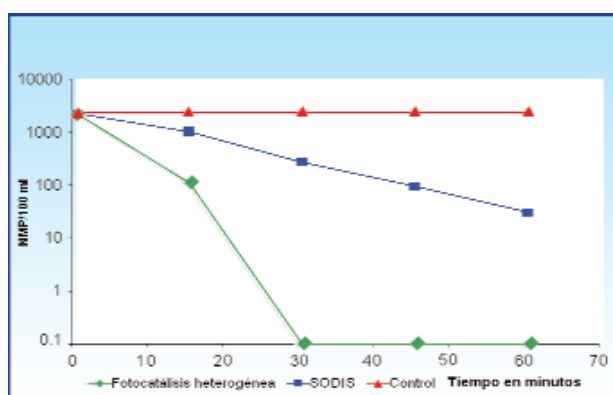
# Tratamiento y Calidad del Agua

## Calidad del agua

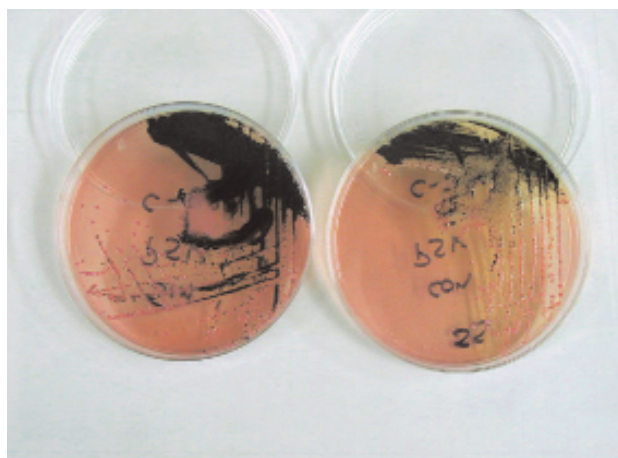
La desinfección solar tradicional conocida como SODIS (por los vocablos en inglés *solar disinfection*), consiste en exponer botellas transparentes con agua al sol durante al menos 12 h. El IMTA ha trabajado en el mejoramiento de esta tecnología, diseñando y probando un concentrador de la radiación ultravioleta que permite reducir el tiempo de exposición para la eliminación de organismos patógenos a 4 h de exposición, aproximadamente. Este sistema se ha denominado SODIS modificado. No obstante, se ha observado el recrecimiento de colonias microbianas 24 h después de haber aplicado tanto el método SODIS tradicional como el modificado. Para reducir el tiempo de exposición y evitar el recrecimiento de microorganismos, el IMTA ha desarrollado un material consistente en anillos de vidrio en los cuales, por medio de la deposición se adsorbe dióxido de titanio. Este material, reutilizable por largos periodos, de fácil aplicación y manejo, y sin efectos nocivos, se ha utilizado con excelentes resultados. La presencia de anillos de vidrio con

dióxido de titanio produce una fotocatalisis heterogénea que permite reducir el tiempo de exposición a 15 min en días nublados, además de evitar el recrecimiento de colonias bacterianas. Los resultados muestran la viabilidad de este tipo de tratamiento como una metodología efectiva y práctica de desinfección a nivel casero, incluso en zonas con baja insolación.

En el laboratorio de microbiología del IMTA se implementó el método de identificación de bacterias por medio del ADN, con la ventaja de que detecta, además de bacterias comunes en el medio, bacterias latentes, anaerobias o de difícil reproducción. Esta técnica inicia con la extracción de material genético de la célula, el cual es amplificado en el segmento 16S, por medio del método de reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés). Mediante enzimas, el gen 16S es cortado en subsegmentos que son separados por diferencias en el peso molecular. Las secuencias 16S se adhieren a fragmentos proteicos y se introducen en bacterias modificadas para que sinteticen los fragmentos de ADN, también llamados clonas, utilizados para la identificación de las bacterias de procedencia. La identificación de las bacterias se realiza con base en la determinación de los componentes y su secuencia en la cadena de ADN adherido, inequívocos para cada bacteria en particular. Al aplicar la técnica en agua residual de la industria petroquímica, se reconocieron varias familias bacterianas como *Escherichia coli* y diversas proteobacterias, entre las que destaca *Thauera* spp. Los resultados de este análisis se complementaron con los obtenidos por técnicas tradicionales de identificación bacteriana, en las que se efectuaron el aislamiento, selección e identificación de bacterias cultivables



COMPARACIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO PARA LA REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES POR DESINFECCIÓN SOLAR



BACTERIAS AISLADAS PROVENIENTES DE AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA

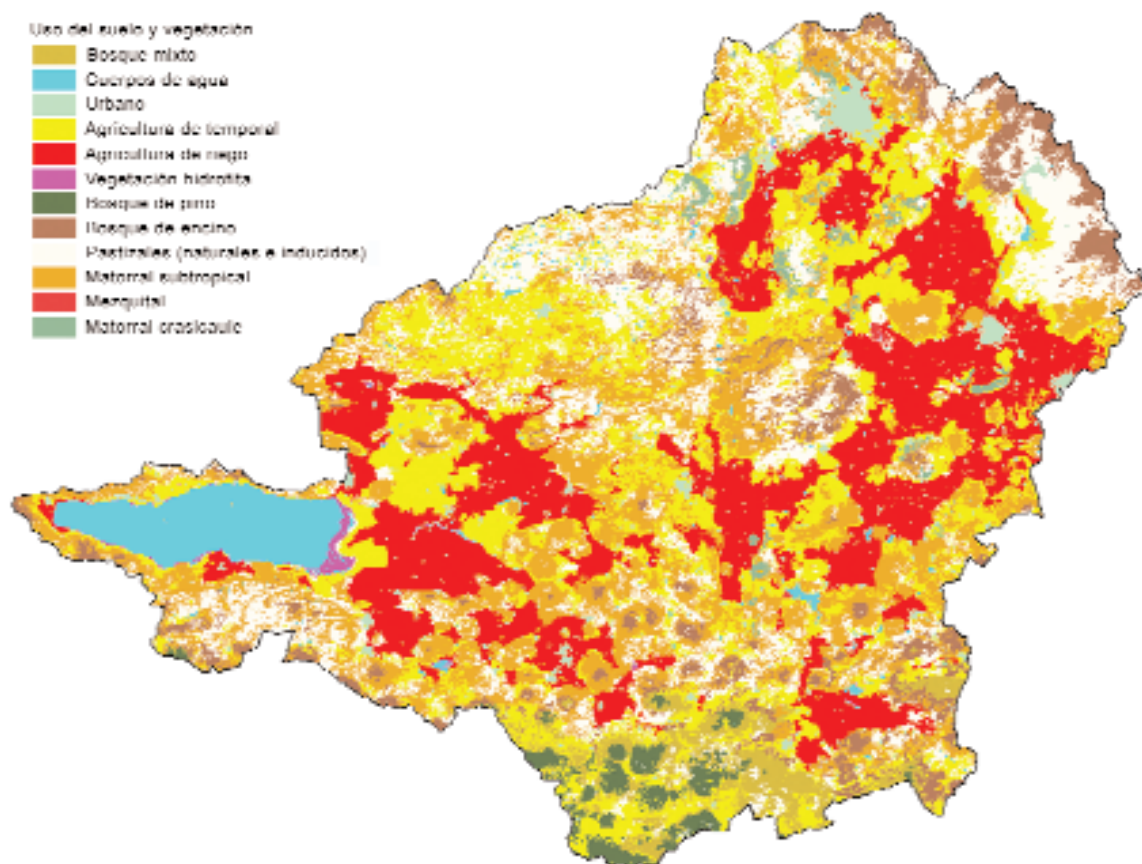
aclimatadas a la degradación de compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Los microorganismos se sometieron a un proceso de selección natural a través de fuentes de carbono orgánico aromáticos y volátiles. De esta manera se aislaron géneros como *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas fluorescens putida*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*. De los géneros aislados se pretende obtener una mezcla de microorganismos con capacidad degradadora de efluentes provenientes de la industria petroquímica.

## Hidrobiología y evaluación ambiental

A petición de la SGT de la CNA se realizó el estudio de la contaminación difusa en la cuenca baja del río Lerma. Se analizaron las aportaciones totales de fósforo y nitrógeno en las subcuencas Corrales, Chapala, Duero, Zula, Yurécuaro, Turbio y Angulo. De los resultados obtenidos se desprende que, en total, la cuenca baja genera anualmente 7,871 t de nitrógeno y 1,874 t de fósforo. La contribución de nitrógeno por las fuentes puntuales es del 72.8% y de las difusas del 27.2%. En lo que respecta al fósforo las fuentes puntuales aportan el 81.6% y las difusas el 18.4%. La mayor aportación de estos nutrientes proviene de la subcuenca Corrales que genera el 54.3% de nitrógeno y el 59% de fósforo, mientras que la subcuenca Angulo es la que menos aporta con 4.1 y 3.4% de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Estos resultados indican que si se con-

trolan las fuentes de contaminación puntual de la subcuenca Corrales, la calidad del agua del río Lerma presentaría una importante recuperación y se disminuiría considerablemente la aportación de nutrientes al lago de Chapala.

La Comisión Estatal de Aguas de Querétaro solicitó al IMTA la propuesta de alternativas para medidas de compensación en el área afectable por la posible construcción de la presa Extóraz, como parte de los estudios complementarios para la manifestación de impacto ambiental correspondiente. En este sentido, tomando en cuenta los servicios ambientales que el área brinda a la zona, tales como la captura de carbono, la producción de agua limpia y la conservación de la biodiversidad, se plantean dos alternativas de creación de una nueva área natural protegida para la zona de estudio. La primera consiste en anexas una superficie de 7,255 ha al Programa de Manejo de la Reserva de Biosfera de Sierra Gorda. Esta propuesta se basa en proporcionar una región apta de compensación a la zona núcleo Cañón de Moctezuma de la reserva, que cuenta con la presencia de las especies: *Penelope purpurascens* (ajol), *Puma concolor* (puma), *Leopardus wiedii* (tigrijo) y *Leopardus yagouaroundi* (leoncillo). La segunda alternativa tiene dos vertientes: la primera, que consiste en establecer un área natural protegida estatal con superficie de 13,979 ha, para que la subcuenca del Extóraz siga prestando los servicios ambientales relacionados con la infiltración y la producción de agua limpia, así como la de retención de suelos para evitar el aporte de sedimentos tanto al río Extóraz, como a la presa. La segunda vertiente considera los servicios ambientales de la conservación de la biodiversidad relacionados con *Pinus pinceana* (piñón), especie endémica del país. Esta alternativa plantea la asignación de una superficie estimada de 8,251 ha al área natural protegida estatal. La selección final de la estrategia de mitigación estará a cargo del gobierno del estado. En este mismo proyecto se analizó también la posibilidad de crear un fideicomiso para el pago de servicios ambientales por recaudación de los consumidores del agua de la presa, mismo que serviría para el financiamiento de proyectos de protección de la biodiversidad, conservación de la cuenca y mejoramiento de la calidad del agua.



USO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA

En coordinación con la Dirección General de Sanidad Vegetal de la Sagarpa, se elaboró una guía normativa para regular la introducción, cultivo, transporte, venta o cualquier otro uso de las malezas acuáticas en México, la cual se encuentra en revisión para su posible aceptación como norma mexicana. Además, mediante pruebas de toxicidad y genotoxicidad se demostró que los micoherbicidas para el control de malezas acuáticas no presentan efectos tóxicos agudos o crónicos.

A solicitud de la CFE, se llevó a cabo el Dictamen de Factibilidad Ambiental para el proyecto de la presa La Parota, Gro. Para la integración del dictamen se revisaron los estudios técnicos y se realizó la evaluación ambiental, además de participar activamente en reuniones públicas con los afectados. Con base en el estudio realizado, se concluyó que el proyecto hidroeléctrico es ambientalmente factible.

Como parte de las acciones que el IMTA desarrolla en Morelos, se han iniciado trabajos con el fin de establecer las bases de un programa de sanea-

miento en la cuenca del río Apatlaco. Se observó que existen dos tramos críticos sobre el río: el primero que comprende la zona metropolitana de Cuernavaca, que durante el estiaje aporta una carga contaminante de 38.6 t/día de DBO<sub>5</sub> y el segundo, localizado entre las confluencias del río Apatlaco con el arroyo Poza Honda y del mismo río con el río Yautepec, que aporta 198 t/día de DBO<sub>5</sub>. Por lo que respecta a las fuentes puntuales de contaminación, de acuerdo con los registros de la CNA, existen 46 descargas municipales directas y 88 indirectas, así como cuatro industriales directas y 15 indirectas. Los principales contaminantes que se detectaron en los tramos urbanos del río son de origen orgánico. En Acatlipa por ejemplo, el nitrógeno total y el fósforo alcanzan concentraciones de 8 mg/l y 2 mg/l, respectivamente. En la zona agrícola se detectó la presencia de pesticidas como la atrazina, el carbofurán y el 2-4 D. Una solución inmediata identificada para disminuir la carga orgánica de las descargas municipales consiste en rehabilitar y cons-



RÍO EXTÓRAZ, QUERÉTARO

truir fosas sépticas y letrinas secas, con una inversión aproximada de \$21.4 millones. Un punto crítico para la contaminación lo representa el ingenio Emiliano Zapata, cuya descarga es de 198.3 t/día de demanda bioquímica de oxígeno.

## Potabilización

Para Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V., se realizó un proyecto relacionado con la desinfección de agua potable con plata. Los resultados de laboratorio mostraron que la desinfección con este metal, solo o en combinación con peróxido de hidrógeno, evita el recrecimiento de bacterias de importancia sanitaria y no altera las características organolépticas del agua. Así, el uso de este desinfectante es técnicamente factible y permite cumplir con la normativa nacional e internacional en lo referente a la calidad bacteriológica del agua para consumo humano. Se evaluó el modelo sobre la cinética de agotamiento intrínseco de la mezcla plata-peróxido de hidrógeno y se concluyó que su desempeño no fue del todo satisfactorio, por lo que es necesario desarrollar un modelo matemático que describa con ma-

yor precisión la cinética de la interacción entre la mezcla y la población bacteriana.

Con financiamiento del fondo mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Morelos, se llevó a cabo la primera etapa del proyecto relacionado con sistemas para captar y potabilizar aguas pluviales para uso y consumo humano en comunidades rurales del norte de Morelos. Se elaboró un diagnóstico con la información básica y poblacional obtenida del INEGI y de las visitas realizadas a 18 comunidades de la región. Se seleccionó a Jumiltepec, municipio de Ocuituco, para la aplicación domiciliaria, y a Villa Nicolás Zapata, municipio de Totolapan, para la colectiva. El sistema domiciliario utilizará la azotea de la iglesia y las canalizaciones existentes para captar y conducir el agua que se tratará, posteriormente, mediante un filtro lento de arena y se enviará a un depósito revestido de una geomembrana. Para el sistema colectivo se diseñó, desarrolló y evaluó, a nivel piloto, un sistema de tratamiento de filtración en múltiples etapas para tratar el agua de los depósitos de Villa Nicolás Zapata. Las eficiencias de remoción de color y turbiedad fueron mayores al 95%, generando agua apta para uso y consumo humano. La planta definitiva que se construirá en 2005 se

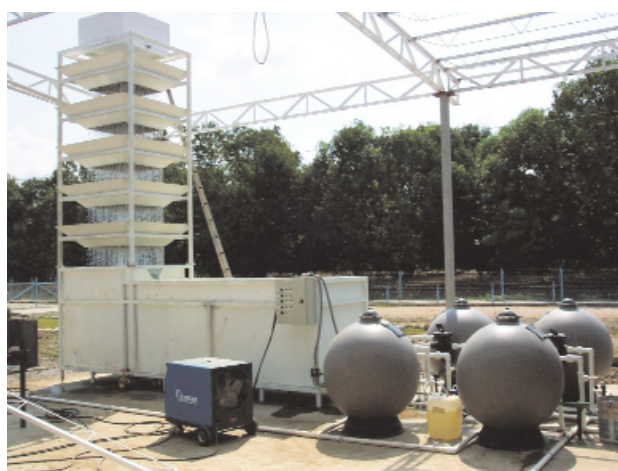
diseño para tratar 0.17 l/s, equivalente a una dotación de cincuenta litros por habitante por día.

La empresa Productos Agrícolas AMEX, S. de R. L. de C.V., con sede en Chiapas, solicitó al IMTA el diseño de un sistema de tratamiento para que el agua del pozo concesionado satisfaga los requisitos de la 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 su modificación de 2000. El líquido es utilizado para el lavado de mango que se exporta a países que exigen que la calidad del agua sea potable. La caracterización del agua mostró que los contenidos de hierro (2.48 mg/l), de manganeso (0.76 mg/l) y de coliformes totales (4 NMP/100 ml) son superiores a los límites permisibles marcados en la norma referida. Además, se detectó la presencia de ácido sulfhídrico. Se diseñó y supervisó la construcción de una planta de tratamiento con capacidad de 4 l/s, la cual consta de aeración con charolas para control de sulfuros y preoxidación de hierro, filtración con arena sílica para remoción de los precipitados de hierro y adsorción-oxidación sobre zeolita natural recubierta con óxidos de manganeso para remoción de manganeso. La torre de aeración se construyó con acero al carbón, mientras que para las unidades de filtración y de adsorción-oxidación se utilizaron filtros comerciales. A la salida de los filtros de arena se aplica cloro para regenerar la capacidad de adsorción de la zeolita recubierta, desinfectar el agua y mantener un efecto residual a la salida. La planta, además de

eliminar el olor del agua, opera actualmente con eficiencias de remoción promedio del 98% para manganeso, del 97.4% para hierro y del 100% para coliformes totales.

A solicitud de la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro, se definió el proceso de tratamiento para una planta potabilizadora con capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>/s que abastecería a Querétaro, Cadereyta, Bernal, Ezequiel Montes y Colón, Qro., con agua captada en la presa Extóraz. Para caracterizar el agua se recopilaron datos históricos de su calidad en el río Extóraz en el sitio proyectado para la ubicación de la cortina y en el sitio Bucareli, correspondiente al de la obra de toma. Con respecto a los parámetros: color, turbiedad, nitratos, arsénico, plomo, mercurio y coliformes fecales y totales, éstos rebasan los límites máximos permisibles especificados en la NOM 127-SSA1-1994. Las pruebas de tratabilidad, a escala de laboratorio y piloto, permitieron determinar los reactivos a utilizar, sus dosis óptimas y los parámetros operacionales de la mezcla rápida y la floculación, para la que los mejores resultados se obtuvieron con sulfato de aluminio y un polímero catiónico. El agua tratada cumplió con todos los requisitos de potabilidad de la norma de referencia. Además, se determinaron las características de sedimentabilidad, espesamiento y deshidratación de los lodos, y se aplicó el protocolo CRETIB, resultando negativas todas las pruebas. Por lo tanto, el lodo no es un residuo peligroso y podrá ser dispuesto sin riesgo en rellenos sanitarios. El diseño final propuesto en el tren de tratamiento consta de cuatro módulos, cada uno de 625 l/s de capacidad con los componentes siguientes: mezcla rápida hidráulica en canaleta Parshall, floculador hidráulico horizontal de tres cámaras, sedimentador de alta tasa, filtros duales rápidos de arena y antracita, pre y pos-cloración, y reducción de volumen de los lodos por espesamiento hidráulico y deshidratación en filtros prensa para su disposición final en relleno sanitario.

El IMTA llevó a cabo la segunda etapa de un estudio relacionado con los efectos que pudiera tener el volumen de agua almacenado en el lago de Chapala, sobre la salud de los habitantes de la zona. El proyecto incluyó muestreos y análisis de agua y sedimentos, así como estudios sobre la propia pobla-



PLANTA DE REMOCIÓN Y MANGANESO EN LA EMPRESA PRODUCTOS AGRÍCOLAS AMEX, S. DE R.L. DE C.V., CHIAPAS



PRUEBAS DE TRATABILIDAD DEL AGUA DEL RÍO EXTÓRAZ

ción. Los resultados mostraron que el volumen de agua almacenado tiene influencia en la concentración de arsénico, mercurio y plomo en la columna de agua, así como en el riesgo de exposición a estos contaminantes.

El abastecimiento de agua potable en comunidades rurales en donde existe escasez o no hay infraestructura de suministro es un problema cada vez más grave. Una alternativa para solucionar este problema, sobre todo en poblaciones cercanas a la costa, es la desalación de agua de mar. Si bien la tecnología para desalar agua está bien desarrollada, los costos de la energía necesaria para el proceso son muy altos. En este sentido el IMTA ha establecido una línea de trabajo para desalar agua utilizando fuentes no convencionales de energía. En una primera etapa se adaptó un sistema utilizando energía solar para una dotación de 10 l/hab/día. Para este efecto se diseñaron y construyeron tres dispositivos: un concentrador parabólico que incluye un destilador solar tubular; un destilador de escalera convencional, que funcionó como testigo, y un destilador tubular solar solo, todos fabricados en acrílico comercial. La mayor producción se obtuvo en el reactor de escalera, sin embargo, el reactor más eficiente fue el destilador tubular solar alcanzando valores de  $0.96 \text{ l/m}^2/\text{hora}$ . Este valor se alcanzó con la ayuda de un calentador solar para precalentamiento. Con este sistema, para obtener 10 l/hab/día, sería necesario construir una batería de 36 reactores con un costo aproximado de \$55,000, incluyendo el calentador solar. Este costo se considera demasiado alto para su aplicación en comunidades rurales,

por lo que es necesario evaluar tanto técnica como económicamente otros materiales como PET, PVC y vidrio, para disminuir costos.

## Tratamiento de aguas residuales

Como parte del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, se han desarrollado varios proyectos para el saneamiento del lago utilizando la tecnología de humedales artificiales. Entre éstos destaca el diseño e instalación, durante 2004, de un humedal de 1l/s en la localidad de Cucuchucho, municipio de Tzintzuntzan, Mich., para el tratamiento de las aguas residuales generadas por alrededor de novecientos habitantes. En este proyecto se realizaron estudios de topografía, de mecánica de suelos y de calidad del agua, así como labores de instalación y puesta en marcha. Las primeras evaluaciones del sistema presentan resultados muy satisfactorios, ya que se obtiene el 99% de remoción de DBO total, el 93% de nitrógeno total y el 85% de fósforo total. Dado que el sistema cuenta con una laguna de maduración como mecanismo de desinfección natural, los niveles de coliformes fecales descienden notablemente, lo que permite cumplir con los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-1996 *Que establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*, en el rubro de uso para riego agrícola. El efluente tratado, aun al ser descargado directamente al lago, no tiene efectos negativos ya que se han eliminado los nutrientes que favorecen la eutroficación.

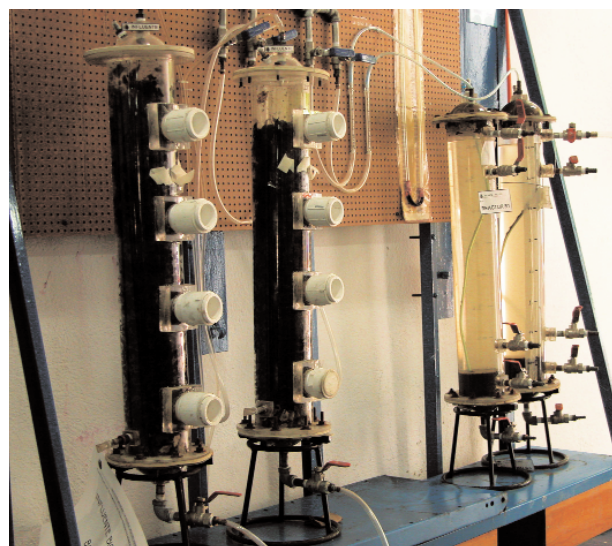
Se realizó la primera etapa de la evaluación de microorganismos efectivos sobre la eficiencia de degradación de contaminantes recalcitrantes en aguas residuales industriales. Con este propósito se seleccionaron aguas residuales de un efluente con compuestos petroquímicos difíciles de degradar, de las que se obtuvo el licor mezclado del sistema que trata estos desechos. Además, para la alimentación de la biomasa de este licor se eligieron descargas de la misma petroquímica que contienen compuestos orgánicos aromáticos, tales como: benceno, tolueno, p-xileno, naftaleno, fenol y otros compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. En el licor mezclado



ESQUEMA DEL HUMEDAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CUCUCHUCHO, TZINTZUNTZAN, MICHOACÁN

procedente de la petroquímica se identificaron las siguientes bacterias cultivables: *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas fluorescens putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Citobacter freundii* y *Pantoea* spp. El licor mezclado se adaptó en reactores aerobios de biomasa suspendida y de biomasa fija, con regímenes de operación aerobio y anaerobio, los cuales se alimentaron con mezclas de las aguas de descarga de la petroquímica. El análisis del influente y el efluente, después de cuatro meses de adaptación, indicó que en el reactor de biomasa suspendida, el benceno y el naftaleno se degradan al 100%, mientras que el tolueno y el p-xileno sólo lo hacen en un 47 y un 80%, respectivamente. En cambio, en los dos tipos de reactores de biomasa fija se degrada al 100% también el p-xileno. Al final del periodo de aclimatación, se utilizó el licor mezclado del reactor de biomasa suspendida para identificar las bacterias que sobrevivieron. Sólo dos géneros adaptados a la presión selectiva fueron identifica-

dos: *Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas fluorescens putida*, las cuales son reportadas en la literatura como degradadoras de hidrocarburos.



REACTORES DE BIOMASA FIJA Y BIOMASA SUSPENDIDA ALIMENTADOS CON AGUA RESIDUAL DE UNA PETROQUÍMICA