

CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA

INFORME ANUAL IMTA 2013

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

CONTENIDO

Presentación

Mensaje del Director General
El IMTA en México
El IMTA en síntesis

Resultados relevantes

1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua.
2. Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones.
3. Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
4. Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector.
5. Asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades económicas y financieras de manera sustentable.
6. Consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua.
7. Premios y distinciones

Anexos

1. Vinculación con centros de investigación y desarrollo tecnológico
2. Administración
3. Proyectos 2013 que conforman estrategias integrales de atención
4. Catálogo de proyectos desarrollados (diciembre 2013)

PRESENTACIÓN

MENSAJE DEL DIRECTOR GENERAL

El presente informe da cuenta de los principales resultados y avances alcanzados en el 2013 y comprende la continuación de proyectos comenzados con anterioridad, así como los trabajos iniciados en la presente administración. Con el fin de mostrar de una manera más clara la contribución que el IMTA hace a la sociedad, en este informe se ha adoptado una clasificación temática que considera los siguientes rubros:

1) Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, 2) Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones, 3) Fortalecer al abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, 4) Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector, 5) Asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades económicas y financieras de manera sustentable, y 6) Consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua.

Asimismo, en cada uno de estos rubros se señala su alineación con las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, con lo que se espera que el lector pueda apreciar mejor la relevancia de las tareas sustantivas del Instituto en la orientación y contribución al cumplimiento de las grandes metas nacionales.

Sin duda, el año 2013 marcó un inicio de administración acelerado, congruente con la urgencia de solucionar los problemas apremiantes en el sector agua. En este sentido, cabe destacar la mayor integración del Instituto dentro del sector nacional hídrico mediante una colaboración más estrecha con la Comisión Nacional del Agua en temas de relevancia para el país, tales como la seguridad de presas; el Programa Nacional contra la Sequía; el Programa Nacional contra Contingencias Hidráulicas; la medición en presas, canales y pozos agrícolas; la planeación del sector hídrico nacional; la infraestructura hidroagrícola; la administración del agua, y el Servicio Meteorológico Nacional, entre otros.

Muestras concretas de una mayor participación con la Comisión Nacional del Agua son el apoyo que brindó el IMTA en el desarrollo de procesos y políticas asociados con la formulación del Programa Nacional Hídrico 201-2018.

En materia de transferencia tecnológica, se obtuvieron tres licenciamientos de tecnologías IMTA con protección intelectual y derechos de autor: BIOTROP, tecnología para el tratamiento de agua residual municipal por medio de biofiltros; ICAM-Riego, sistema para mejorar y facilitar la planeación y control de todos los procesos relacionados con la entrega de agua y su uso en las parcelas, y el Sistema Electrónico Portátil para Simplificar la Medición de Flujo de Agua en Canal Abierto.

En el ámbito internacional merece mención la preponderante participación del IMTA en el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO, mediante su liderazgo en el Comité Nacional Mexicano para el PHI, que este año celebró su X reunión en las instalaciones del Instituto.

Todo lo anterior pone de manifiesto que esta administración se ha planteado un enfoque de anticipación a los problemas y de búsqueda de una mayor integración con los diferentes actores del sector agua, sean del orden público, privado, académico o social, tanto nacionales como extranjeros.

De esta manera, los resultados aquí presentados manifiestan nuestro claro compromiso institucional con la premisa fundamental de que el conocimiento científico y tecnológico debe imperar en las decisiones de política pública en materia hídrica, para mejorar así las condiciones de vida de todos los mexicanos.

El IMTA en México

Incidencia del IMTA
en la república mexicana

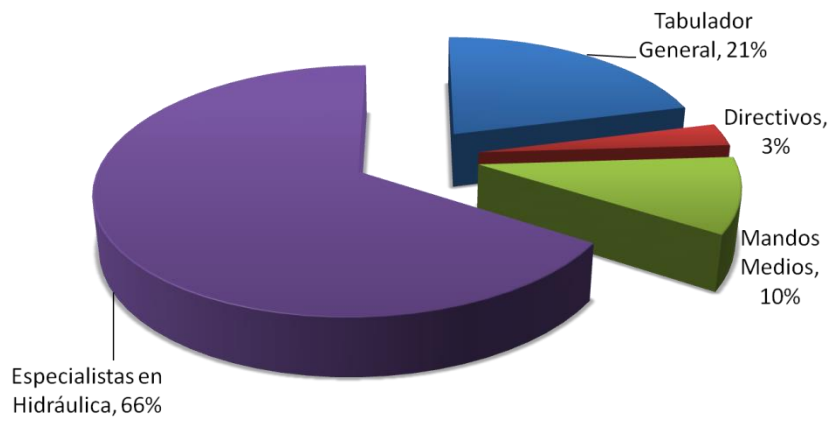
Acciones por estado



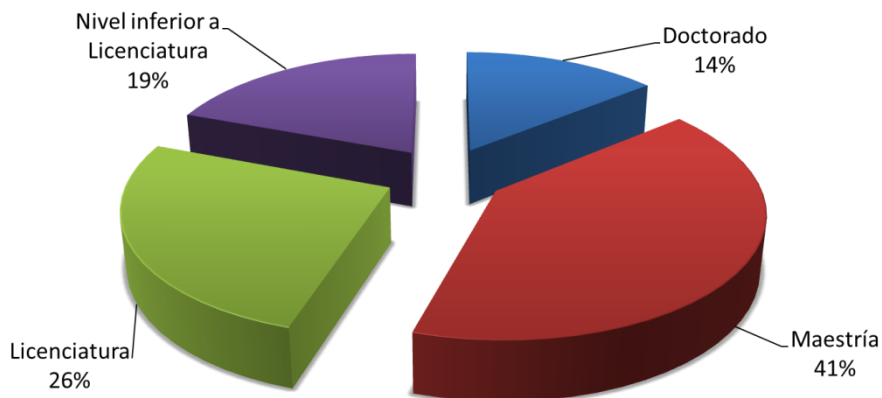
El IMTA en síntesis

Potencial humano

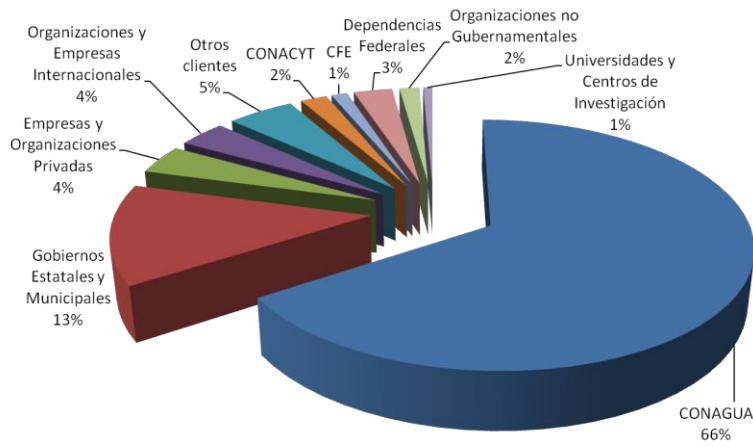
Personal por nivel de puesto



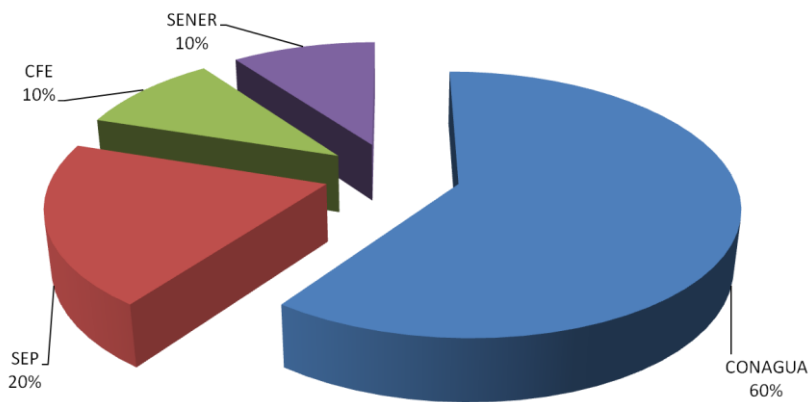
Personal por grado académico



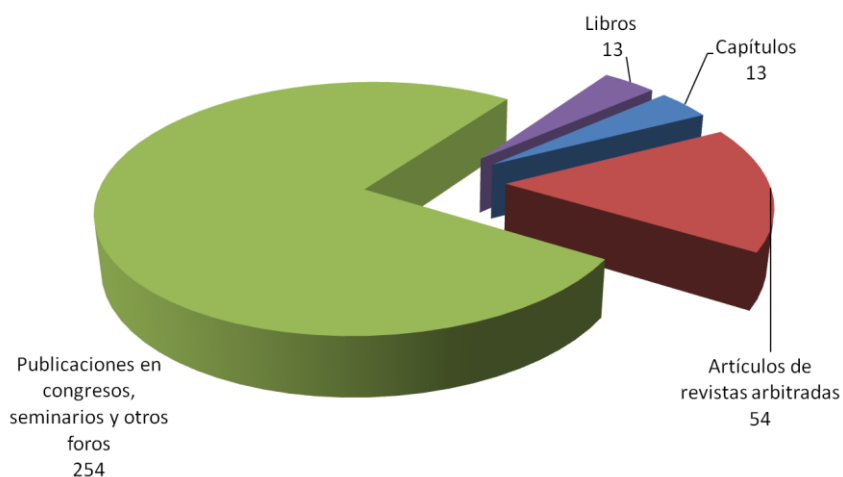
Instituciones con las que colabora el IMTA



Investigación con fondos sectoriales Conacyt



Producción científica



Libros editados

| Título | ISBN | Editorial | Autor | Lugar y fecha de publicación |
|--|--|---|---|---|
| <i>Flúor y arsénico en agua de consumo humano: retos y perspectivas.</i> | 978-607-8272-11-2 | IMTA- Centro de Investigación en Materiales Avanzados-Red Temática del Agua Conacyt | María Teresa Alarcón Herrera, Alejandra Martín Domínguez e Ignacio R. Martín Domínguez (Coord.) | México, DF. Enero 2013. Versión digital. |
| <i>Manual escolar del agua, la higiene y la salud.</i> | 978-607-7563-76-1 | ONU-Hábitat-BASF-IMTA | José Antonio González Serrano | Jiutepec, Mor. Abril 2013. Versión impresa. |
| <i>Legislación y cultura del agua. Conceptos básicos de administración y legislación del agua en México.</i> | 978-607-7563-85-3 (vi) 978-607-7563-73-0 (vd) | IMTA | Gustavo Ortiz y Flor Cruz Gutiérrez | Jiutepec, Mor. Noviembre 2013. Versión impresa y digital. |

| | | | | |
|---|--|-----------|---|---|
| | | | | |
| <i>Biodeterioro del concreto.</i> | 978-607-7563-79-2 | IMTA | Luis Emilio Rendón y María Eugenia Lara | Jiutepec, Mor. Octubre 2013. Versión digital. |
| <i>Capital social para la gestión integral del agua: un caso en América Latina.</i> | 978-607-7563-58-7 | IMTA | Eduardo López | Jiutepec, Mor. Octubre 2013. Versión digital. |
| <i>Prevención de conflictos y cooperación en la gestión del agua en México.</i> | 978-607-7563-88-4 (vi) 978-607-7563-78-5 (vd) | IMTA-UAEM | Sergio Vargas, Rita Vázquez del Mercado, Rosalinda Uribe, Javier Lambarri, Denise Soares, Gemma Millán, Roberto Romero y María Elena Rivero | Jiutepec, Mor. Noviembre 2013. Versión impresa y digital. |
| <i>Instrumentos legislativos y económicos de política pública: hacia el logro de la gestión integrada del agua en México.</i> | 978-607-7563-51-8 (vi) 978-607-7563-84-6 (vd) | IMTA | Gustavo Ortiz y Eduardo Donath | Jiutepec, Mor. Noviembre 2013. Versión impresa y digital. |
| <i>Gobernanza del agua, del concepto a la implantación. Memorias del seminario.</i> | 978-607-7563-95-2 | IMTA | Varios. (Ed. Polioptro Martínez y Fernando Reyna) | Jiutepec, Mor. Noviembre 2013. Versión digital. |
| <i>Congreso IMTA 2013.</i> | 978-607-7563-92-1 | IMTA | Varios | Jiutepec, Mor. Diciembre 2013. Versión digital. |
| <i>Manual de capacitación con base en el estándar de competencia EC0348 "Riego presurizado en parcelas".</i> | 978-607-7563-98-3 | IMTA | Juan Carlos Herrera, Pedro Pacheco y Jorge Andrés Castillo | Jiutepec, Mor. Diciembre 2013. Versión digital. |
| <i>Manual de capacitación con base</i> | 978-607-7563-97-6 | IMTA | Pedro Pacheco, Juan Carlos Herrera y Jorge | Jiutepec, Mor. Diciembre |

| | | | | |
|---|-------------------|------|--|---|
| <i>en el estándar de competencia EC0349 "Riego superficial en parcelas".</i> | | | Andrés Castillo | 2013. Versión digital. |
| <i>Manejo y distribución del agua en distritos de riego. Breve introducción didáctica.</i> | 978-607-7563-96-9 | IMTA | Edmundo Pedroza González y Gustavo A. Hinojosa Cuéllar | Jiutepec, Mor. Diciembre 2013. Versión digital. |
| <i>Laboratory and field testing of a handheld radar to measure the water velocity at the surface of open channels</i> | 978-607-7563-80-8 | IMTA | Tamarí S., García F., Arciniega-Ambrocio J.I., Porter A. | Jiutepec, Mor. Diciembre 2013. Versión digital. |

Patentes 2013

| NÚM. | NOMBRE | ESTATUS |
|------|--|-------------------------|
| 1 | Banco universal de pruebas para dispositivos domésticos utilizadores de agua y similares. | Título 202202 |
| 2 | Dispositivo para aireación y circulación de lagos y embalses y método de operación. | Título 273455 |
| 3 | Banco de pruebas de los elementos que conforman las tomas domiciliarias. | Título 233877 |
| 4 | Método para el tratamiento de lodos provenientes del tratamiento de agua, recuperación de coagulante y disposición 50% IMTA/SILICATOS. | Título 227928 |
| 5 | Mezcla cruda para la producción de Clinker de cemento tipo Portland resistente a la corrosión microbológica. | Título 282541 |
| 6 | Válvula con cámara de amortiguamiento paralelas para la separación y expulsión de aire en la toma de agua domiciliaria. | Título 237185 |
| 7 | Sistema de floculación accionado por aire. | Título 250205 |
| 8 | Formulación de micoherbicida para el control del lirio acuático. | Título 286577 |
| 9 | Utilización del tabachín y de la jacaranda en biofiltros utilizados en el tratamiento de aguas residuales (copropiedad IMTA/CRIQ). | Título 299532 |
| 10 | Concentrador solar de paredes planas para la desinfección del agua para consumo humano. | Modelo de utilidad 2662 |
| 11 | Proceso de tratamiento biológico aerobio de aguas residuales, mediante biocinta sumergida e instalación para su realización (BIOSTAR 1). | Título 308091 |
| 12 | Método de biofiltración de un efluente líquido. | Título 306035 |
| 13 | Estructura para disipación de energía y aeración de | Examen de |

| | | |
|----|--|-----------------|
| | corrientes. | fondo |
| 14 | Limitador de gasto para redes de riego a presión. | Examen de fondo |
| 15 | Banco de pruebas para válvulas hidráulicas de compuerta y mariposa 2" hasta 12". | Examen de fondo |
| 16 | Método para producir un medio filtrante orgánico activado con basidiomicetos y método para su uso en biofiltros, para remover moléculas recalcitrantes, color y reducir toxicidad en aguas residuales. | Examen de fondo |
| 17 | Remoción de arsénico por electrocoagulación utilizando un reactor a flujo pistón y un tren complementario de tratamiento conformado por floculación mejorada, sedimentación y filtración. | Examen de fondo |
| 18 | Tratamiento de lixiviados de solución nutritiva y su reúso en cultivos de hidroponía. | Examen de fondo |
| 19 | Estructura orientadora de flujo de vertedores de excedencias tipo abanico completo. | Examen de fondo |
| 20 | Modificación a la tecnología de filtración en múltiples etapas para reúso de agua en la acuicultura, con descarga cero. | Examen de fondo |
| 21 | Sistema combinado de biofiltración-humedal para el tratamiento de aguas residuales de viviendas unifamiliares. | Examen de fondo |
| 22 | Dispositivo aspersor modificado para riego. | Examen de fondo |
| 23 | Remoción de nitrógeno en un reactor biológico por combinación de biomasa sumergida en lecho fijo, y suspensión (modificación del sistema de lodos activados Ludzack-Ettingger). | Examen de fondo |
| 24 | Reactor biológico para el tratamiento de efluentes contaminados a base de vermifiltración. | Examen de forma |
| 25 | Caudalímetro ultrasónico de tres niveles con telemetría. | Examen de |

| | | |
|----|--|--------------------|
| | | forma |
| 26 | Prueba diagnóstica para compuestos inductores de daños biológicos causados por alteraciones en la expresión genética. | Examen de fondo |
| 27 | Sistema de calibración para sensores de temperatura (SICAST). | Examen de fondo |
| 28 | Biorreactor como planta de tratamiento compacta de aguas residuales municipales con un soporte sintético. | Modelo de utilidad |
| 29 | Sistema electromecánico portátil para simplificar la medición del flujo de agua en canal abierto. | Modelo de utilidad |
| 30 | Mezcla cruda para la elaboración de Clinker y la subsecuente producción de cemento tipo Portland y concreto resistentes al ataque ácido químico directo. | Examen de forma |
| 31 | Utilización de bagazo de agave y de cáscara de nuez en biofiltros utilizados para el tratamiento de líquidos residuales. | Examen de forma |
| 32 | Estación hidrométrica itinerante, auxiliar en operaciones de aforo con molinete. | Examen de forma |
| 33 | Sistema de calibración para sensores de humedad relativa. | Examen de forma |
| 34 | Sistema de calibración para sensores de presión atmosférica (SICASPAT) | Examen de forma |
| 35 | Sistema de calibración para pluviómetros digitales (SICAP) | Examen de forma |
| 36 | Metrosonda | Examen de forma |
| 37 | Dispositivo magnético para el tratamiento de agua | Examen de forma |
| 38 | Desarenador convencional para obras de generación hidroeléctrica | Examen de forma |
| 39 | Fluviógrafo ultrasónico de auto-sifonamiento con | Examen de |

| | | |
|----|---|-----------------|
| | telemetría | forma |
| 40 | Caudalímetro ultrasónico de tres niveles con telemetría | Examen de forma |

1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua

México en Paz

El agua, elemento integrador de los mexicanos

- **Procesos de planificación y políticas para formular el Programa Nacional Hídrico 2013-2018**

El sector hídrico nacional presenta un gran reto ante la grave problemática de agua en el país. Ello requiere del fortalecimiento de sus capacidades institucionales para lograr articular una política hídrica nacional que proporcione seguridad hídrica a largo plazo a todos los mexicanos. Este fortalecimiento requiere transformaciones en los aspectos jurídicos, institucionales, políticos, técnicos, económicos y de ciencia y tecnología.

En este contexto y al ser la Conagua la autoridad federal encargada de la gestión del agua, la planeación, financiamiento y planteamiento estratégico del sector agua, le resulta de vital importancia redefinir la política hídrica nacional. Así, es necesario que se estructure una visión a futuro en la que quede claramente definido hacia dónde queremos llegar y cómo debemos hacerlo. Para lograr tal visión es impostergable plantear adecuaciones a la forma de construir la política hídrica nacional, la cual queda plasmada en el documento rector para el sector que es el Programa Nacional Hídrico 2013-2018 (PNH). La formulación de una política hídrica requiere el cambio de paradigmas no sólo en la manera de realizar la planeación, sino en las estructuras institucionales, el marco jurídico correspondiente y las herramientas de apoyo a la gestión.

Por tanto, se apoyó a la Subdirección General de Planeación de la Conagua en el desarrollo de procesos y políticas asociados a la formulación del PNH. Entre las principales actividades desarrolladas se encuentran:

- Colaboración con la Conagua para la elaboración del PNH, bajo el enfoque de un programa especial.
- Se apoyó a la Comisión en el análisis de los resultados de la consulta pública para el PNH 2013-2018.
- Se desarrollaron recomendaciones para adecuar los programas federalizados de la Conagua a los nuevos objetivos de política indicados en el PNH.

- Se realizaron aportes para la elaboración de las bases de un proyecto de Ley General de Aguas.
- Se realizó un diagnóstico de la estructura organizacional vigente, analizando la pertinencia de modificaciones a la misma.
- Se elaboró una propuesta técnica para delimitar y codificar cuencas hidrográficas conforme al método Pfafstetter (creado en Brasil por Otto Pfafstetter en 1989 y difundido a través del Servicio Geológico de los EUA, en el Programa Nacional del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. En la actualidad va constituyéndose en un estándar de codificación de unidades hidrográficas).
- Elaboración de una guía para efectuar estudios de gran visión y prefactibilidad.
- Se elaboraron bases para la conceptualización del Sistema Financiero del Agua como un esquema institucionalizado y regulado de financiamiento para el sector.
- Se trabajó en el análisis de nuevas fuentes de financiamiento para los proyectos de inversión del sector hídrico.
- Se elaboraron lineamientos generales para desarrollar una estrategia de cooperación internacional y asistencia financiera para el sector hídrico, alineada con los objetivos del PNH.



Reunión de análisis FODA para la estrategia de difusión del PNH 2013-2018.

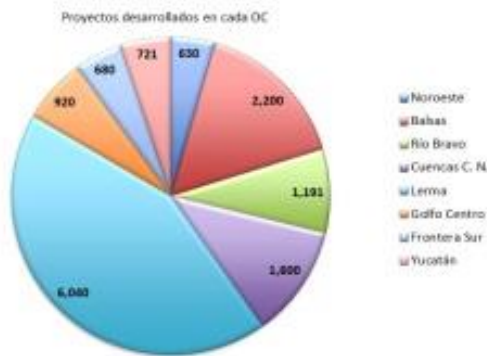
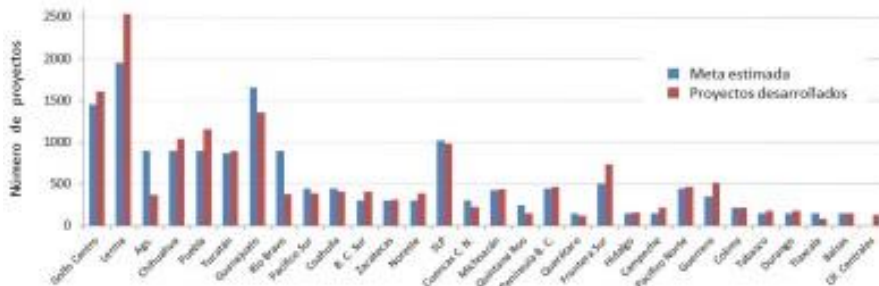
- ***Atención de solicitudes de trámite hasta su inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua***

En virtud de que la demanda de trámites de competencia de la administración del agua en los organismos de cuenca (OC) y direcciones locales (DL) de la Conagua ha rebasado la capacidad de respuesta institucional, en el mes de mayo de 2013 se celebró un convenio de colaboración entre la Comisión y el IMTA, con objeto de conjuntar acciones y recursos para: a) abatir el rezago en la atención de 16,670 de las solicitudes de trámite pendientes de resolver y titular en el ámbito nacional, en OC y DL, y b) abatir el rezago en la atención

de 13,982 solicitudes de inscripción al Registro Público de Derechos de Agua (Repda), de los OC.

Tomando en cuenta los objetivos establecidos y actividades a desarrollar, se aplicó una metodología organizativa con supervisión puntual del cumplimiento de metas en cada OC y DL. Como resultado y en cumplimiento al primer objetivo, se elaboraron 16,670 proyectos de resolución para las áreas de administración del agua de los OC y DL, lo que representa el 41.8% del rezago nacional que se tenía al mes de abril de 2013.

En cumplimiento al segundo objetivo, se elaboraron 13,982 proyectos de asientos registrales para las áreas del Repda de ocho OC, lo que representa el 59.2% del rezago acumulado a abril de 2013, sumado a los trabajos desarrollados por el IMTA para la administración del agua durante la ejecución del convenio, que fueron turnados al Repda para su inscripción.



- **Coordinación técnica del Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán**

En 2010 se firmó el Convenio de Colaboración entre el Consejo de Cuenca Península de Yucatán, la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) y el IMTA, con objeto de realizar el Plan Rector en Materia de Agua para la Protección, Conservación y Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán.

El objetivo del Plan consistió en efectuar un diagnóstico ambiental; identificar retos y problemas prioritarios; proponer líneas, objetivos y acciones estratégicas, así como un conjunto jerarquizado y consensuado de proyectos específicos para el periodo 2011-2020, con el fin de establecer las bases del desarrollo sustentable de la península.

En 2013 se da inicio a las acciones emanadas del Plan, en su primera etapa. Por tal motivo, es necesario dar seguimiento físico, técnico, administrativo y financiero a los diversos proyectos y programas para condensar las acciones comprometidas y difundir los avances y resultados, generando así los instrumentos que permitan hacer una evaluación sobre impactos en el entorno.

Entre las actividades principales se encuentran: dar seguimiento a las acciones ejecutadas por las distintas instancias locales, municipales, estatales, federales y de la sociedad civil organizada; supervisar los proyectos de la península financiados por la FGRA en lo referente a la transferencia de tecnologías apropiadas en el ámbito comunitario y de vivienda; llevar a cabo la revisión del Plan para su actualización; hacer actividades para la vinculación con programas y acciones interinstitucionales locales y regionales, y dar difusión de resultados del programa mediante acciones de comunicación.

Como resultados aparecen: inicio a las actividades de coordinación con el Organismo de Cuenca Península de Yucatán y el Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY) para que, mediante la suma de esfuerzos, se realicen de manera conjunta las actividades con los usuarios de aguas nacionales, sociedad organizada, academia, investigación y gobierno. Para este fin, se celebran reuniones y talleres donde se abordarán temáticas relacionadas con el uso sustentable del recurso agua, además del seguimiento de los indicadores del Plan, cuya estrategia para la actualización ya se encuentra validada por el CCPY; con las asociaciones de la sociedad civil de los tres estados de la península: Campeche, Yucatán y Quintana Roo, encargadas de hacer la transferencia de tecnologías apropiadas. Por último, se están definiendo los alcances y metodología de la supervisión que realizará el Instituto.

Derivado del Plan Rector, se cuenta con un Plan Estratégico consensuado para la recuperación ambiental de la península de Yucatán que considera el agua como elemento central. Con la aprobación del proyecto *Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán. Primera etapa 2013-2106*, se dio inicio a las acciones emanadas del Plan Rector en su primera etapa. Mediante la coordinación técnica se da seguimiento físico, técnico,

administrativo y financiero a los diversos proyectos y programas emanados del Plan, para condensar las acciones comprometidas y difundir los avances y resultados del Programa, generando así los instrumentos que permitan hacer una evaluación sobre el impacto del mismo en el entorno.

En lo relativo a la vinculación con programas y acciones interinstitucionales locales y regionales, se apoyó la logística, con materiales de trabajo y difusión al II Encuentro Regional de Usuarios del Agua y Sociedad Organizada, del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, celebrado en Cancún, Quintana Roo. Este evento tuvo como objetivo realizar diálogos cruzados entre usuarios del agua, sociedad organizada y gobierno para el análisis de temas hídricos fundamentales y propiciar la toma de acuerdos que permitan impulsar estrategias y acciones para un mejor y más eficiente manejo del agua en la cuenca; participaron más de 250 personas y se plantearon 123 estrategias.



Taller para la evaluación y establecimiento de metas de los 15 indicadores contemplados en El Plan Rector para la Protección, Conservación y Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán.



Apoyo al II Encuentro Regional de Usuarios del Agua y Sociedad Organizada, del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán.



El Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán es resultado del Plan Rector 2011.

Indicadores para revisión, consenso y validación del Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán.

| PROBLEMA PRIORITARIO | INDICADOR 1 | INDICADOR 2 |
|---|--|---|
| Reducción de la cantidad y calidad del agua | Grado de presión | Agua residual tratada |
| Deterioro de los recursos naturales | Cambio de uso del suelo | Ordenamientos territoriales |
| Crecimiento urbano desordenado | Ordenamientos ecológicos municipales | Programa de desarrollo urbano municipal |
| Rezagos sociales y económicos | Índice de rezago social | - |
| Pobreza extrema y deterioro de la salud y bienestar públicos | Población con acceso al alcantarillado | Población con acceso a servicios públicos de salud |
| Legislación ambiental insuficiente, reducida conciencia y participación social y baja cultura ambiental | Reciclaje de residuos sólidos urbanos | Mecanismos de participación implementadas a partir de inspecciones, operativos y resoluciones ambientales |
| Fenómenos extremos y cambio climático | Índice de aseguramiento de bienes | Inversión en acciones de mitigación y adaptación ante el cambio climático |
| Insuficiencia en el monitoreo e información socioambiental | Número de estaciones de monitoreo hidroambiental | Número de sistemas con acceso a información hidroambiental |

- **Estudio de factibilidad de la remediación del acuífero Cuautitlán-Pachuca, localmente contaminado por cromo en la zona de Lechería, Tultitlán, Estado de México**

El organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM-Conagua) solicitó al IMTA realizar un estudio para elaborar la estrategia de saneamiento del acuífero Cuautitlán-Pachuca, contaminado con cromo por la compañía Cromatos de México, que operó de 1958 a 1978 en la colonia Lechería, Tultitlán, Estado de México. Para efectuar la remediación del acuífero se plantea extraer, a través de pozos, el agua de la zona problemática, tratarla mediante tecnología apropiada para remover cromo e inyectar el agua ya tratada al mismo acuífero o intercambiarla con los usuarios de la zona. Lo anterior se hará con base en un modelo de flujo y otro de transporte que integre toda la información hidrogeológica y defina el esquema principal del movimiento del agua subterránea y los contaminantes en la zona de estudio.

Dentro de las principales actividades desarrolladas, se encuentra la distribución espacial de los parámetros hidráulicos que controlan la dinámica del agua en la zona saturada del subsuelo. A partir de la revisión y reinterpretación de 25 pruebas de bombeo (Theis, Neuman y recuperación de Theis), reportadas en estudios previos, se obtuvo que la conductividad hidráulica horizontal a utilizar en el modelo varía de 1.29×10^{-4} a 2.5×10^{-7} m/s.

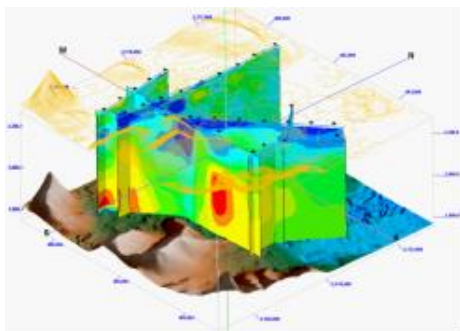
Se realizó la integración de treinta sondeos eléctricos verticales (SEV) de la zona de Tultitlán, para representar la distribución de las unidades hidrogeológicas en el subsuelo. Después de procesar la información, se procedió a la interpretación de los resultados, para lo cual se consideraron las observaciones hechas en el sitio, consistentes en conocer los tipos de rocas en los alrededores.

Se han revisado los diferentes métodos aplicados en el ámbito internacional en la remoción de cromo del agua subterránea. Entre estos métodos, destacan aquellos que extraen el agua y la tratan (*pump and treat*), barreras activas e inactivas, electro, tratamiento térmico, fito-remediación, oxidación química in situ, electro-descontaminación y atenuación natural, entre otros.

Asimismo, se efectuó la evaluación técnico-económica a nivel piloto (0.5 L/s) de la electrocoagulación (EC), como una alternativa para remover el cromo. Se extrajo agua del pozo 4C del sitio Cromatos. Las pruebas piloto se realizaron durante dos semanas, con concentraciones en el agua cruda entre 312-347 mg/L. Se logró una remoción del 98% del cromo y 27% de los sólidos disueltos

totales. El costo estimado de esta tecnología fue de \$32.5/m³, que incluye: energía, electrodos de sacrificio, polímero y disposición de los lodos como residuos tóxicos. Por otra parte, para conocer los límites de aplicación y costos de tratamiento utilizando el proceso de coagulación asistida por redox/filtración directa, se llevaron a cabo pruebas piloto en dos pozos con 0.13 y 3.0 mg/L de cromo total, obteniéndose concentraciones residuales menores al límite máximo de 0.05 mg/L, que establece la NOM-127-SSA1-1994, y cuyos costos de tratamiento se calcularon entre 0.70/m³ y 1.70 \$/m³, respectivamente.

Como actividades complementarias a los estudio de hidrología, se realizaron dos campañas de monitoreo en 12 pozos de abastecimiento en un radio de 3 km desde Cromatos. Los resultados muestran niveles de cromo de 2.5 a 65 veces el límite máximo permisible estipulado en la NOM-127-SSA1-1994 en algunos pozos municipales e industriales, respectivamente.



Secciones geoelectricas: los colores rojo y amarillo muestran la distribución de la roca volcánica en el subsuelo.



Pruebas con EC (pozo 4C-Cromatos).



Filtración directa.

- ***Caracterización de los esquemas de flujo que siguen los efluentes inyectados en pozos de absorción y diagnóstico de la calidad del agua en cenotes afectados de la Quinta Avenida, así como descargas de aguas residuales de las plantas de tratamiento de la ciudad de Playa del Carmen, Quintana Roo***

La ciudad de Playa del Carmen, Quintana Roo, experimenta un desarrollo económico y habitacional acelerado. El crecimiento de la población y de la infraestructura turística ha modificado, significativamente el medio físico y los patrones de flujo del agua subterránea, así como la calidad del acuífero de apenas 8 m de espesor. El suelo está constituido por rocas calizas solubles de origen marino, altamente carstificadas, con presencia de múltiples fracturas, cenotes, fallas normales orientadas y múltiples conductos de disolución.

Debido a las condiciones hidrogeológicas, el agua residual tratada es inyectada al subsuelo a través de pozos emisores, diseñados y construidos para diseminar los efluentes, provenientes de las plantas Saastun Ja y Gonzalo Guerrero, por debajo de la lente de agua dulce.

A principios de febrero de 2013, se reportó el deterioro de la calidad de varios cenotes afectados por agua residual. Por este hecho, la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA) solicitó al IMTA un estudio para identificar las fuentes contaminadoras que afectan la calidad de los cenotes, caracterizar los patrones de flujo que siguen los efluentes de agua residual tratada en el subsuelo, así como un diagnóstico de la calidad del agua de cenotes afectados y de las descargas de agua residual de las plantas Saastun Ja y Gonzalo Guerrero.

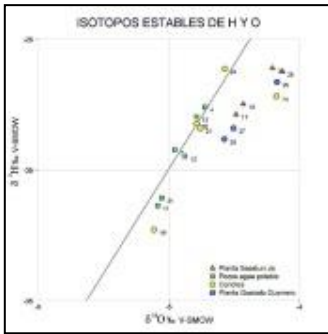
El establecimiento de una red de monitoreo representativa de los diferentes grupos de agua en la zona, el uso de métodos hidrogeoquímicos e isótopos ambientales de hidrogeno y oxígeno, y la aplicación de trazadores fluorescentes permitieron caracterizar el esquema de flujo del agua residual tratada en el subsuelo e identificar las fuentes contaminadoras que afectan la calidad de los cenotes. Adicionalmente, los resultados indicaron que el agua residual tratada inyectada en los pozos emisores resurge en los espesores de agua dulce aledaños a las plantas. Los registros dinámicos verticales de temperatura y conductividad eléctrica de los pozos emisores 3 y 4 de la planta Saastun Ja indican que, únicamente, el 80% de la columna de ademe ranurado actúa como sección emisora efectiva de agua residual a la zona de agua salobre. No se encontraron evidencias hidrogeológicas de afectación de la calidad del agua de la zona de captación de agua potable, atribuibles a los efluentes de los pozos emisores de las plantas de tratamiento, ni por lixiviados provenientes del Relleno Sanitario Solidaridad.



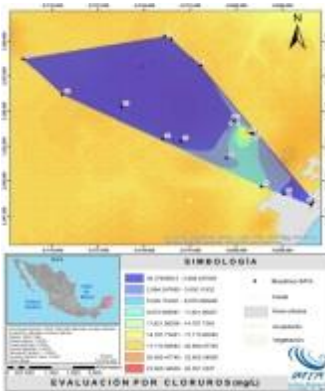
Red de monitoreo del acuífero de Playa del Carmen, Quintana Roo.



Pruebas de trazadores fluorescentes en pozos emisores de las plantas de tratamiento de aguas residuales Saastun Ja y Gonzalo Guerrero.



Composiciones de isótopos estables de H y O y contenido de Cl⁻ de los tipos de agua de Playa del Carmen, Quintana Roo.



Composiciones de isótopos estables de H y O y contenido de Cl⁻ de los tipos de agua de Playa del Carmen, Quintana Roo.

- ***Determinación del estado de salud e indicadores biológicos para la evaluación de la recuperación del río Apatlaco***

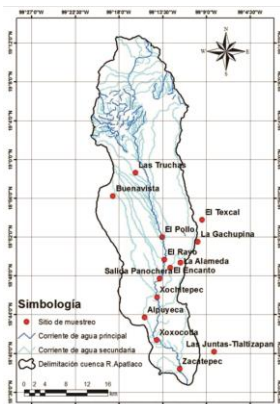
El IMTA participó con la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN) en un proyecto del Fondo Mixto de Conacyt/Gobierno del Estado de Morelos para valorar el estado actual del agua del río Apatlaco, considerando las partes alta (antes del ingreso del río a Cuernavaca), media (Cuernavaca y Temixco) y baja, antes del entronque con el río Amacuzac (Jojutla y Zacatepec). El IMTA realizó la caracterización fisicoquímica de agua y sedimento, mientras que el ENCB-IPN obtuvo muestras biológicas (peces y macroinvertebrados bentónicos). La integración de los resultados dio cuenta del estado de salud del río Apatlaco, correlacionando los resultados de agua y sedimento con los biológicos.

Se realizaron cuatro muestreos (uno en temporada de estiaje, uno en lluvia y dos intermedios) en 14 sitios: siete sobre el cauce principal, cuatro en los afluentes y tres fuera de la cuenca del río Apatlaco.

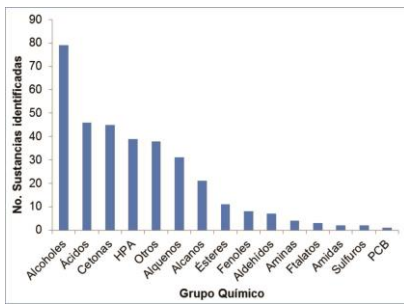
De acuerdo con los resultados de los parámetros analizados y con los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89) para los diferentes usos del agua, únicamente el agua del sitio Las Truchas es apta para uso en riego agrícola, mientras que como fuente de abastecimiento y protección de la vida acuática, ninguno de los sitios muestreados cumplen con todos los límites señalados para los diferentes usos.

Al considerar el número de parámetros analizados que no rebasan los CE-CCA-001/89 para los diferentes usos por sitio, de manera general la calidad del agua del río inicia de manera aceptable en el sitio Las Truchas, pero desde el segundo sitio de muestreo (El Pollo) y conforme la corriente continúa su curso, va reduciéndose la calidad del agua sin llegar a recuperarse.

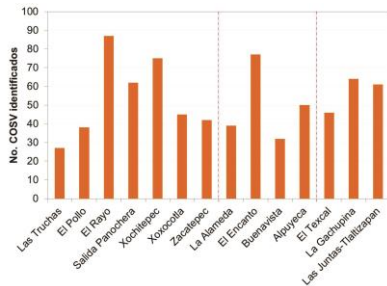
Los resultados de pH clasifican los sedimentos entre neutros y medianamente alcalinos, al presentar valores entre 7 y 8 unidades. El contenido de materia orgánica en los sedimentos varían entre medio y muy alto. La mayoría de las muestras de sedimento presentan textura arena-limosa con humedad que varía entre 27 y 80%. Los resultados de un barrido cualitativo de contaminantes orgánicos semivolátiles (COSV) identifican en total 337 sustancias. La de sedimento colectada en el sitio El Rayo, ubicado en la corriente principal del río Apatlaco, contiene el mayor número de COSV con un total de 88. La distribución de las COSV identificadas muestra que el mayor número de sustancias son del tipo alcohol, seguidos de ácidos, cetonas e hidrocarburos poliaromáticos.



Localización de sitios de muestreo.



Clasificación de los COSV identificadas en muestras de sedimento por grupo químico.



Número de COSV identificados por sitio de muestreo.

- **Desarrollo de una plataforma computacional que incluye información geográfica y documental sobre cambio climático en México**

En los últimos años, el IMTA ha realizado estudios sobre el comportamiento de los diferentes procesos que se llevan a cabo durante el ciclo hidrológico afectados por la variabilidad climática.

Los resultados fueron publicados en la serie de libros “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México”. Estos estudios representan un primer diagnóstico para identificar cuáles serán las zonas más alteradas ante la variación del clima, que permite proponer acciones que disminuyan o prevengan los posibles efectos negativos que afecten directamente a la población, tanto en su seguridad como en su desarrollo.

Debido a la importancia de estos estudios para apoyar la gestión del recurso hídrico, al contemplar los efectos de la variabilidad climática en la administración del agua, se realizó una adecuación de toda la información para concentrarla en una base de datos y generar un sistema de información geográfica que facilite su consulta, procesamiento y posterior uso como insumo en modelos hidrológicos y de planeación.

Además, se creó un visualizador web que contiene toda la información sobre estudios de vulnerabilidad hídrica, los escenarios climáticos de precipitación y temperatura utilizados para los análisis de la vulnerabilidad, así como información documental relacionada con proyectos de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en México.



Volúmenes I y II de los libros sobre “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México”.



Geoportal de información sobre cambio climático en el recurso hídrico de México.



Escenario climático de temperatura máxima en verano para el periodo 2070-2098, disponible en <http://gia.imta.mx/geoportal/>



Vulnerabilidad hídrica en la cuenca del río Conchos, escenario A2, 2100.

- ***Integración de la manifestación de impacto ambiental (MIA) del Proyecto Hidroeléctrico El Pescado, río Balsas***

Este proyecto tiene como antecedente los *Estudios hidrológicos y de calidad del agua en el tramo de la Central Hidroeléctrica El Caracol a la Central Hidroeléctrica El Infiernillo en el río Balsas, Guerrero*, y responde a la necesidad de expandir la generación hidroeléctrica en sitios que representen menores efectos ambientales, en cuencas ya reguladas y sin inundación de poblados.

Actualmente, la operación de la hidroeléctrica El Caracol corresponde a una central de energía de picos con cuatro horas en promedio de generación diaria, que provocan variaciones horarias en las elevaciones del río, sobre todo en el área inmediata al desfogue y antes de que se incorporen afluentes al mismo. En consecuencia, el Proyecto Hidroeléctrico El Pescado funcionará como una presa de cambio de régimen que disminuirá la variabilidad horaria, permitiendo la recuperación de procesos asociados a la vegetación riparia, comunidades acuáticas, acceso al agua y seguridad para las poblaciones.

Se integró un sistema de información geográfica para identificar los instrumentos vinculantes de conservación y ordenamiento territorial en el Sistema Regional Ambiental (SAR). Por otro lado, los resultados de la calidad del agua (demandas bioquímica y química de oxígeno y sólidos suspendidos totales) del río, muestran que ésta es de buena a aceptable; sin embargo, el parámetro crítico es la concentración de coliformes fecales y totales, que rebasa los límites máximos permisibles establecidos en los criterios de calidad del agua. En general, el paisaje de la región denota una pérdida del capital

natural, con uso agropecuario y urbano y escasa vegetación primaria. Del análisis de peces resalta la presencia de especies endémicas como *Cichlasoma istalnum* y el bagre *Istlarius balsanus*, y de cuatro introducidas, a las que se modificaría su dinámica actual con el nuevo embalse.

Los impactos significativos adversos se relacionan con la creación de un nuevo embalse y grandes movimientos de materiales. Para el primero, se señaló un impacto sinérgico y acumulativo por la pérdida de suelos de calidad, vegetación, hábitat y fragmentación de ecosistemas, mientras que para el segundo se hizo énfasis en su control mediante cumplimiento normativo y aplicación de medidas de mitigación y mejores prácticas de ingeniería. Los impactos benéficos se relacionan con la disminución de la variabilidad horaria del caudal, la generación de empleos, activación de la economía regional y disponibilidad de servicios para la población; los tres últimos temporales.



- *Inventario y programa de manejo integral para la conservación de los humedales del Soconusco, a través de su delimitación, caracterización ecológica, hidrológica, social y grado de riesgo***

Actualmente, los humedales son reconocidos como sistemas altamente complejos y de gran valor para la sociedad por los servicios ecosistémicos que brindan, generando con ello la necesidad de protegerlos con vistas a su mejor gestión y conservación. La región costa de Chiapas cuenta con una enorme riqueza hídrica y, en ella, se localiza la Reserva de la Biosfera de La Encrucijada, catalogada como uno de los humedales más importantes de México. La Conagua, respondiendo a los compromisos internacionales en conservación, lleva a cabo el Inventario Nacional de Humedales (INH), programa en el cual se enmarca este trabajo.

El objetivo de este proyecto fue elaborar el inventario regional de humedales de los ríos Cintalapa, Vado Ancho, Des poblado y Huixtla de la región del Soconusco, Chiapas, basado en imágenes de satélite y cartografía digital (escala 1:50,000 y 1:20,000).

El inventario contiene información ecológica, económica, social y legal de la cuenca, toda ella compatible, consistente y alineada con el INH. En cada cuenca hidrográfica se llevó a cabo, por medio de sensores remotos, la delimitación y distribución de los humedales y sus cuerpos de agua asociados, así como su verificación en campo.

De igual manera, se elaboraron guías metodológicas para la actualización periódica del INH. Asimismo, se identificó y evaluó el deterioro antrópico provocado por el uso del agua en agricultura y ganadería a lo largo de la cuenca, considerando su recuperación o amortiguamiento. La economía del agua a nivel de cuenca hidrológica se proyectó a treinta años.



Humedal costero La Encrucijada.

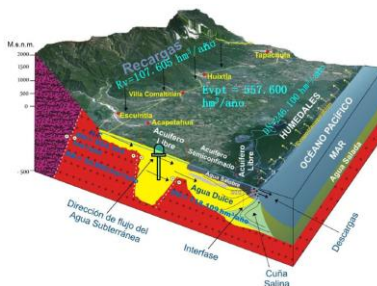


Diagrama conceptual de funcionamiento geohidrológico de las cuencas del Soconusco.

- **Control biológico de lirio acuático de la presa Colorines del Sistema Cutzamala, Estado de México**

Desde 2010, la presa Colorines, Estado de México, ha venido presentando una severa infestación de lirio acuático, al punto de no poder observarse el espejo de agua. Esto ha traído como consecuencia una pérdida del volumen del

embalse debido a la evapotranspiración de las plantas y al azolve que se provoca cuando la planta muere y se deposita en los sedimentos.

Las diversas descargas de aguas residuales que se localizan en todo el perímetro de la presa, así como las que provienen de canal de Santo Tomás, proporcionan nutrientes ideales para que la planta crezca y se reproduzca sin limitación alguna. Los métodos convencionales para erradicarla, como herbicidas o control mecánico, resultan ineficientes debido a su alto costo económico y ecológico.

El uso de agentes de control biológico es una alternativa comprobada y disponible en México para reducir el crecimiento y reproducción, tanto por estolones como por semilla, de esta maleza, además de no provocar efectos colaterales para el ecosistema o el ser humano. En este sentido, el IMTA cuenta con tres agentes de control: dos insectos y un hongo, los cuales son específicos del lirio. Las larvas de los insectos destruyen hojas, tallos y raíces de las plantas y presentan un efecto directo en la producción de flores, reduciéndolas de manera drástica. Por otro lado, el hongo provoca una enfermedad en la planta que hace que el follaje se desequie y muera.

Esta biotecnología es la que está siendo aplicada en la presa Colorines desde junio de 2013, donde después de cinco meses de haber liberado los primeros insectos y de 14 aspersiones de los hongos, se observa que el 100% de las plantas muestran heridas producidas por las rasgaduras que hace el insecto en las hojas. Por otro lado, 95% del follaje del lirio en toda la presa muestra la mancha característica del hongo; es decir, puntos negros que crecen a medida que el daño se extiende en toda la hoja. Esto pone en evidencia que un efecto epidémico se ha logrado, asegurando la diseminación del patógeno en toda la presa.



Presas Colorines antes de aplicación de agentes de biocontrol (follaje verde).



Presa Colorines después de cinco meses de aplicación de agentes de biocontrol (plantas necrosadas que pronto se hundirán).

2. Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones

México en Paz

El agua, elemento integrador de los mexicanos

- **Programa Nacional contra la Sequía (Pronacose)**

La Conagua puso en marcha en enero de 2013 el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía, el cual tiene como elementos base el monitoreo de la sequía y la elaboración de programas de medidas de prevención y mitigación de sequías para cada uno de los 26 consejos de cuenca del país. El IMTA apoyó la implementación del Pronacose, habiendo realizado las siguientes actividades: elaboración de una guía para la formulación de programas de medidas de prevención y mitigación de sequías; revisión de los 24 programas por consejo de cuenca, a cargo de diez universidades del país; formulación de los programas para los consejos de cuenca del río Bravo y del Balsas, así como la revisión editorial para imprimir una primera versión de los 26 documentos elaborados. El país cuenta ahora con programas específicos para hacer frente a fenómenos de sequía y minimizar los impactos sociales, económicos y ambientales de eventuales situaciones de sequía y garantizar el suministro de agua a la población.



Sequía en el Organismo de Cuenca Río Bravo.

- **Programa Nacional contra Contingencias Hidráulicas**

La Conagua puso en marcha en enero de 2013 el Programa Nacional de Prevención contra Contingencias Hidráulicas (Pronach), el cual tiene como elementos rectores la gestión integrada de inundaciones con un enfoque holístico. El IMTA apoyó la implementación del Pronach al elaborar los 13 programas de medidas dirigidas a reducir la vulnerabilidad ante posibles contingencias hidráulicas. El Instituto desarrolló una guía para la formulación

de los programas que comprende la evaluación de la vulnerabilidad a inundaciones, a partir de polígonos de peligrosidad para todo el país, con lo cual se estimó el daño para cada organismo de cuenca con base en polígonos de inundación determinados por Agroasemex para un periodo de retorno de cuarenta años. Asimismo, se calculó el daño anual esperado para una zona piloto en cada organismo de cuenca, proponiendo las medidas no estructurales y estructurales para reducir el riesgo de inundaciones. Ahora, el país cuenta con una metodología para estimar el daño potencial a que están sujetas diversas áreas del país y con una primera identificación de medidas que reduzcan el riesgo antes las inundaciones.



Inundación en Tabasco, 2007.

- ***Seguridad hidrológica de presas***

Después de un análisis a 12 presas, sólo dos resultaron hidrológicamente seguras. Posteriormente, para todas ellas, se planteó la revisión de la capacidad hidráulica del cauce aguas abajo, áreas inundables y cercanía de asentamientos humanos que permita identificar las descargas que no afectan las poblaciones o los requerimientos para evitarlo. En relación con esta situación, también se analizaron las condiciones de las obras de excedencias para, en su caso, reducir las descargas mediante el establecimiento de políticas de operación de la presa o proponer modificaciones al vertedor para controlar las descargas. Los resultados fueron enviados a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de la Conagua para su consideración.



Presa Eustaquio Buelna (Guamúchil).

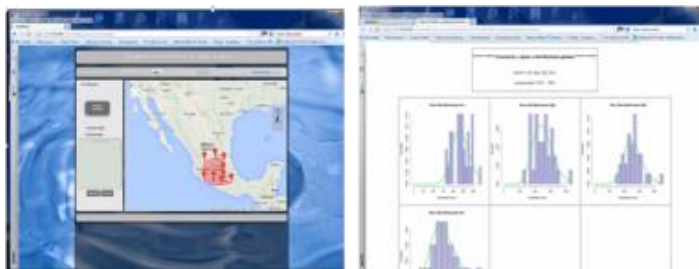
- ***Sistema de resúmenes estadísticos climáticos de regiones definidas en la república mexicana***

México cuenta con alrededor de 5,916 estaciones climáticas con información registrada, en algunos casos, desde 1951, cuya información administra el Servicio Meteorológico Nacional mediante la base de datos *Ciclom*. El IMTA ha desarrollado sistemas que permiten consultar esta información cruda, como el *Eric III*, que además, en algún grado permite la visualización de la información mediante gráficos, tales como mapas y series de tiempo, y que provee una estadística básica de la información: promedios y desviaciones estándar por mes para el periodo seleccionado.

Aunque el citado sistema ha sido una herramienta valiosa, carece de algunas funcionalidades que potenciarían su utilidad al extender sus capacidades para la producción de diferentes resúmenes estadísticos, además de la actualización de la información y el diseño de una nueva interfaz con el usuario para hacerlo más accesible a usuarios no expertos. Esta es la principal motivación para el desarrollo del sistema que se propone en este proyecto.

Así, se desarrolló una herramienta que permite la selección de cuencas y otro tipo de áreas geográficas que pueden identificarse, en las que se aplicarán análisis estadísticos a las variables climáticas provenientes de las mencionadas estaciones.

El producto resultante funge como un auxiliar para el análisis de la información histórica provista por las estaciones climáticas distribuidas en el territorio nacional y para la toma de decisiones en situaciones de vulnerabilidad debida a fenómenos atmosféricos.



Herramienta interactiva en página web para el manejo de información meteorológica histórica.

- **Adaptación de humedales costeros del Golfo de México, ante los impactos del cambio climático**

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el IMTA, desde 2011, llevan a cabo el proyecto *Adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático (2011-2015)*, a través de un donativo otorgado a México por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), mediante el Banco Mundial (BM) como agencia implementadora, el cual tiene como objetivo principal la implementación de medidas de adaptación ante el cambio climático en cuatro humedales costeros del Golfo de México. Se basa en los resultados del proyecto *Adaptación nacional integrada para fortalecer la capacidad de recuperación de los humedales costeros del Golfo de México al cambio climático*.

El proyecto se divide en cuatro componentes: tres técnicas y una administrativa. Las componentes son las siguientes:

Componente 1: Diseño detallado de las medidas de adaptación y coordinación técnica del proyecto.

Componente 2: Implementación piloto de medidas de adaptación en humedales altamente vulnerables.

Componente 3: Evaluación de los impactos y la vulnerabilidad del recurso hídrico ante los efectos del cambio climático.

Componente 4: Administración general del proyecto.

Las componentes 1 y 2 son responsabilidad del INECC, mientras que la 3 y 4 son responsabilidad del Instituto.

Como principal avance de la componente 3, ahora desarrollada por el IMTA, aparece el cálculo de la anomalía en el escurrimiento superficial que se produciría para las cuencas hidrológicas que cubren los humedales piloto para los años 2015, 2020, 2025 y 2030. Esta estimación se basa en los escenarios de cambio climático, A1B y A2, para México, difundidos en el Cuarto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

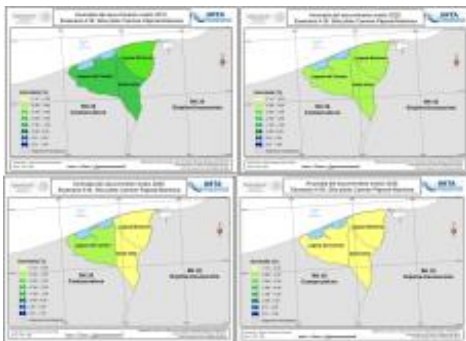
Los resultados muestran que las anomalías máximas se encuentran en el rango de -5.00% a -7.47%, situación que se presenta de manera más temprana en el escenario A2.

Es importante aclarar que, dado que los escenarios climáticos fueron actualizados para su divulgación en el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC,

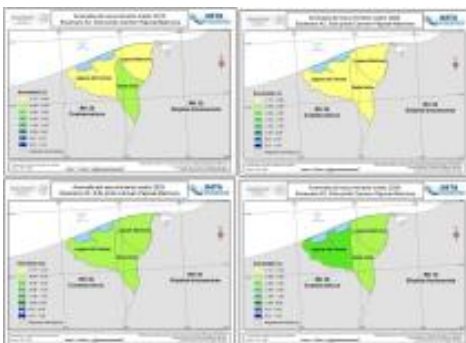
publicado a finales del 2013, actualmente se adecuan para su consulta los nuevos escenarios climáticos generados para México, conocidos como RCP (*Representative Concentration Pathways* o Trayectorias de Concentraciones Representativas), las cuales definen aumentos constantes del forzamiento radiativo hasta alcanzar y estabilizarse en el año 2100, a diferentes valores preestablecidos (RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5). Con estos escenarios, las RCP calcularán en 2014 nuevamente la anomalía del escurrimiento.



Ubicación de los cuatro humedales costeros pilotos donde se llevarán a cabo medidas de adaptación ante el cambio climático.



Anomalía de escurrimiento para el escenario climático A1B para el sitio piloto Carmen-Pajonal-Machona en los años 2015, 2020, 2025 y 2030.



Anomalía de escurrimiento para el escenario climático A2 para el sitio piloto Carmen-Pajonal-Machona en los años 2015, 2020, 2025 y 2030.

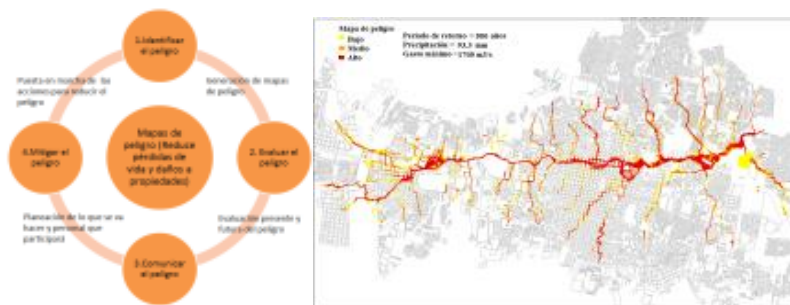
- **Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana**

El objetivo de este proyecto, derivado del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua (FSIDSA) Conagua-Conacyt, es diseñar una metodología para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por efecto de las inundaciones en zonas urbanas. El trabajo formará parte de la actualización al *Atlas de riesgo por inundaciones en México* y se emplearán modelos bidimensionales (2D) con los que es posible calcular el escurrimiento en calles, lo que facilita la elaboración de los mapas de peligro para diferentes periodos de retorno, considerando la mancha urbana de la ciudad. Lo anterior permitirá calcular los riesgos asociados y costos por daños generados, causados por la inundación al patrimonio de personas e infraestructura local.

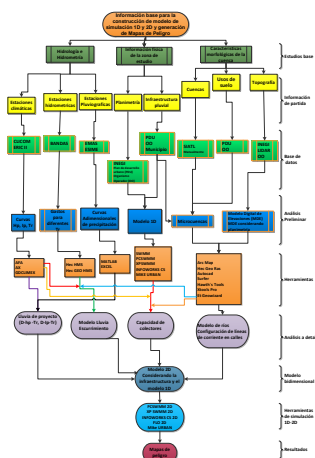
Entre los resultados más importantes destacan: generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación, considerando las componentes de hidrología superficial y subterránea. Estos mapas contemplan el escurrimiento en calles y la planimetría de la ciudad, con lo que es posible delimitar con mayor detalle las zonas de peligro por inundaciones y proponer soluciones estructurales y no estructurales de forma integral, donde, incluso, se puede considerar toda la mancha urbana. La metodología toma en cuenta tanto el análisis fluvial (ríos y arroyos) como el análisis pluvial (colectores pluviales y escurrimiento en calles) de manera conjunta.



Problemas de inundaciones en Chetumal.



Ciclo de un mapa de peligro (FEMA, 2009) y mapa de peligro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



Esquema para la recopilación y procesamiento de la información en la construcción de mapas de riesgo, considerando el escurrimiento en calles.

- **Estudios de medición y control, mediante la evaluación de la instrumentación instalada para el monitoreo estructural en 12 presas de utilidad hidroagrícola**

A solicitud de la Conagua, el IMTA efectuó la visita a 12 presas para evaluar las condiciones de los instrumentos que se emplean en la evaluación de la seguridad estructural, sobre todo en cortinas, que en todos los casos son de tierra con protección rocosa en ambas caras.

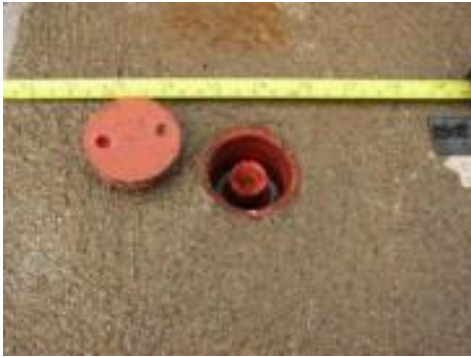
Dichas presas se encuentran en cinco estados de la república y se encuentran en tres regiones hidrológico-administrativas. Se actualizó el inventario de instrumentación de cada presa obteniendo la georreferenciación de cada punto de medición para presentarlos en planos digitales, así como la ficha técnica de cada instrumento evaluado, que va desde los testigos superficiales hasta los inclinómetros utilizados para determinar deformaciones internas de la estructura. Se localizaron 886 instrumentos, siendo en su mayoría testigos superficiales.

Adicionalmente, se efectuó para cada una de las presas la Inspección Nivel 1. Dicho protocolo indica recorrer palmo a palmo todas las estructuras que conforman la presa, a efecto de reportar fracturas, grietas, hundimientos, madrigueras y maleza que pudieran tener origen local y que fuera posible resolver de inmediato con un programa adecuado de mantenimiento.

| ORGANISMO DE CUENCA | ESTADO | MUNICIPIO | NOMBRE OFICIAL | NOMBRE INICIAL |
|----------------------------|---------------|------------------|---------------------------|-----------------------|
| Noroeste | Sonora | Hermosillo | Abelardo L. Rodríguez | Hermosillo |
| | Sonora | Cajeme | Álvaro Obregón | El Oviachic |
| | Sonora | Atil | Cuauhtémoc | Santa Teresa |
| | Chihuahua | Cd. Guerrero | Abraham González | |
| Pacífico Norte | Sinaloa | Culiacán | Adolfo López Mateos | El Humaya |
| | Sinaloa | El Fuerte | Josefa Ortiz de Domínguez | El Sabino |
| | Sinaloa | El Fuerte | Miguel Hidalgo | El Mahone |
| | Sinaloa | Sinaloa de Leyva | Guillermo Blake | El Sabinal |
| | Sinaloa | Culiacán | Sanalona | Sanalona |
| | Durango | Victoria | Guadalupe Victoria | El Tunal |
| | Durango | Canatlán | Caboraca | Canoas |
| Río Bravo | Chihuahua | Aldama | Luis L. León | El Granero |



Presa Caboraca, Durango: 72 testigos superficiales instalados, dos monumentos de centraje forzoso con sus respectivas miras de referencia y tres bancos de nivel.



Testigo superficial instalado sobre el hombro aguas abajo de la cortina de la presa Guadalupe Victoria, Durango. Dicho instrumento se encuentra en buenas condiciones de operación.



Inclinómetro I7 de la presa Guillermo Blake, Sinaloa: tuvo que ser descubierto de entre las ramas de un arbusto para ser evaluado con plomada y *dummy* inclinométrico, obteniendo que es funcional en sus dos sentidos hasta una profundidad de 15.80 m.



Sección de un plano digital elaborado en *AutoCad*, para ubicar los instrumentos de la presa Guillermo Blake. Con el círculo se señala la presencia del inclinómetro I7, de acuerdo con las coordenadas UTM determinadas en campo.

- **Elaboración de estudios, proyecto ejecutivo para la estabilización del suelo y prevención de falla estructural en la rampa y túnel del vado de Atemajac, ubicado en la línea 1 del tren eléctrico urbano, en Guadalajara, Jalisco**

Debido al problema de filtraciones de agua al recinto formado por el cajón y la rampa que alojan las vías del tren eléctrico ubicado en el vado de Atemajac, problemática que persiste prácticamente desde hace cuarenta años, se ha ocasionado el lavado y migración del suelo que sustenta la estructura, provocando pérdida del apoyo en la cimentación y que parte de las estructuras se encuentren prácticamente flotando sobre el agua freática. Para comprender la problemática, se han realizado diversos estudios. El más reciente, elaborado en 2010 por el IMTA, recomendó a la brevedad efectuar los trabajos necesarios para detener la migración de los sedimentos por la unión entre la rampa-cajón, para evitar que se incremente inestabilidad en la zona.

Debido a las características especiales involucradas, es necesario desarrollar un proyecto ejecutivo que defina la solución y secuencia de los trabajos, considerando la operación del tren eléctrico y la vialidad aledaña (Av. Federalismo).

Para lograr lo anterior, se hicieron estudios complementarios mediante sondeos en la zona de influencia del fenómeno, mediante los cuales se determinó la distribución en planta y perfil de las condiciones geotécnicas del suelo.

El análisis de los sondeos muestra que la zona crítica se localiza inmediatamente bajo la losa en el sitio donde brota el agua freática.

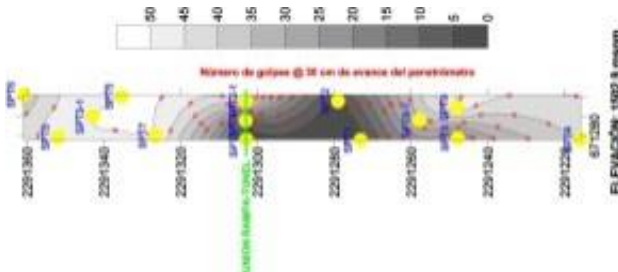
La solución planteada consiste en la colocación de filtros en el sitio del afloramiento, con intención de retener los sólidos transportados, provocar el relleno y la densificación del suelo en la base de las losas. También se requiere apoyar el tramo de losa con problemas de soporte.



Emanación de agua freática a través de la unión de losas con arrastre de sedimentos del suelo de sustentación.



Canalización del flujo y recuperación del suelo transportado.



Mapa de las condiciones geotécnicas del suelo en la zona de influencia: isolíneas de número de golpes de la prueba de penetración estándar; a menor número de golpes corresponde menor densidad del suelo.

- **Revisión de la reglas de operación de programas federalizados**

Cada año la Conagua modifica y adecúa las reglas de operación de los programas federalizados a su cargo. Las modificaciones y adecuaciones se realizan considerando la evolución que se observa de los ejercicios anteriores, que se incorporan a la experiencia de los actores de los programas y que buscan hacer más efectiva la aplicación de los recursos económicos.

En este año le fue encomendada al IMTA la revisión y adecuación de las reglas de operación de cuatro programas fundamentales de la Conagua: Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas, Programa para el Tratamiento de Aguas Residuales, Programa de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales y Programa de Agua Limpia.

La revisión consistió en hacer más clara y ligera la redacción de las reglas de operación de los programas, incorporar a las reglas las adecuaciones necesarias para que el ejercicio de los recursos económicos sea más eficaz y eficiente, y que los trámites exigidos sean los mínimos suficientes, sin perder de vista la garantía de que los recursos se destinen a acciones focalizadas a los objetivos de los programas y a los beneficios para los que fueron diseñados en su origen.

- ***Mejoramiento de la medición en distritos de riego***

Desde 2008, el IMTA ha venido colaborando con la Conagua en la elaboración de proyectos ejecutivos para la instalación de estaciones hidrométricas en distritos de riego. La instalación de estaciones hidrométricas tiene como objetivo principal cuantificar el volumen de agua entregado para riego desde fuentes de abastecimiento (presas, ríos, pozos), además de los volúmenes entregados a unidades y distritos de riego.

Para lograr estos objetivos, el IMTA elabora los proyectos ejecutivos de las estaciones hidrométricas teniendo como premisa la innovación tecnológica y periodos de vida útil prolongada (más de diez años). La selección de los sitios de instalación se realiza a través de la identificación de necesidades de los distritos, atendiendo los objetivos primarios del proyecto. El diseño de cada una de las estaciones hidrométricas es particular y específico a las necesidades particulares de cada uno de los sitios. A la fecha, se tiene probadas las siguientes tecnologías de medición: medidores de efecto Doppler tipo ultrasónico para canales de riego; medidores tipo tiempo de travesía de tipo ultrasónico, tanto para canales como para tuberías de descarga de presas; aforadores de garganta larga instrumentados con medidores de nivel tipo ultrasónico y, recientemente, la incorporación de medidores tipos radas para los casos de canales donde el agua conducida contenga una alta concentración de sólidos disueltos (aguas negras).

Aunado a esto y con la finalidad de atender los requerimientos de la Conagua en lo relacionado al manejo de información, se cuenta con un sistema para la gestión remota de la información de medidores instalados en presas. El sistema administra un total de 44 presas, actualmente, y puede ser consultado en tiempo real en el portal <http://conagua.imta.mx>

Las acciones comprendidas en el programa de mejoramiento de la medición en distritos de riego permiten a la Conagua una mejor administración del agua que se emplea para riego agrícola, además de que es posible conocer, de forma confiable, los volúmenes entregados y aprovechados para esta clase de riego.



Aforador Doppler lateral en el canal Santa Rosa-Tlahualilo, Distrito de Riego 017 Región Lagunera.

- ***Estudio y proyecto de los ríos San Felipe y Río Blanco, en la ciudad de Oaxaca***

La alta probabilidad de afectación de bienes por el desborde de las aguas de los ríos San Felipe y Río Blanco, hace necesario implementar acciones para la protección de los habitantes establecidos en estas cuencas. Con este objetivo, el IMTA elaboró estudios hidráulicos e hidrológicos que permitieron caracterizar el régimen de escurrimiento de la cuenca hidrológica y estableció parámetros que hacen posible alertar a la población en caso de que ocurra una avenida extraordinaria. Todo lo anterior, con la finalidad de que más adelante la Conagua implante un sistema de alerta para prevenir a la población sobre riesgo de inundación y deslizamiento de tierra por avenidas extraordinarias, y delimitar la zona federal y afectación probable para distintos escenarios de lluvia. De manera específica, se hizo un levantamiento topográfico detallado de los trazos de los dos ríos y se construyó un modelo de simulación numérica empleando el *software* comercial *Flow 3D*.

Con los resultados se analiza el comportamiento de las lluvias aplicando métodos de relación lluvia-escurrimiento para diferentes periodos de retorno, la aplicación de criterios normados se delimita a la zona federal del cauce del Río Blanco y se elaboran proyectos de modificación de infraestructura urbana afectada o que afecta el desalojo del agua de lluvia en la cuenca. Finalmente, se hace una propuesta a nivel anteproyecto para la instrumentación de la cuenca de los ríos y de los protocolos para atención de emergencias, a fin de

contar con información en tiempo real que permita a las autoridades actuar con anticipación y evitar afectaciones a la población asentada en la cuenca.



Reparaciones en el medidor de la salida de la presa Oviachic.

3. Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento

México en Paz

El agua, elemento de justicia social

- ***Elaboración del diagnóstico para el manejo integral del agua en 13 localidades, y cinco proyectos ejecutivos para el abastecimiento de agua en localidades con alto grado de marginación en los Altos de Morelos***

Uno de los proyectos estratégicos del gobierno del estado de Morelos es el abastecimiento de agua potable a la región de los Altos.

Esta zona se caracteriza por una baja cobertura de redes de agua potable e insuficiencia de fuentes de abastecimiento convencionales, debido fundamentalmente a las condiciones del subsuelo conformado por basaltos volcánicos fracturados que originan una rápida infiltración del agua, así como también a la altura en que se localizan los asentamientos humanos, que hacen prácticamente incosteable la utilización de fuentes de abastecimiento localizadas en las zonas bajas. Para atender esta problemática, la Comisión Estatal del Agua solicitó el diagnóstico para el manejo integral del agua en 13 localidades y la elaboración de cinco proyectos ejecutivos, con la finalidad de implementar opciones alternativas de mejoramiento en el abastecimiento del agua.

Para contar con información de la situación actual, en el marco de los proyectos ejecutivos se realizaron visitas de inspección a la infraestructura de abastecimiento de agua, levantamientos topográficos y se recabó la información socioeconómica y demográfica en las localidades de Coajomulco, Villa Nicolás Zapata, Santa Catarina, Totolapan y San Andrés Hueyapan, pertenecientes a los municipios de Huitzilac, Totolapan, Tepoztlán y Tetela del Volcán. Se determinó que entre las acciones a llevar a cabo se requiere la rehabilitación de líneas de conducción, tanques de almacenamiento y/o regulación, equipo de bombeo, hoyas de almacenamiento de agua de lluvia, ampliaciones de red e implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, entre otras. Las inversiones requeridas ascienden a \$37.5 millones, en beneficio de 20,600 habitantes.

Para el diagnóstico, se aplicaron 237 encuestas a fin de conocer, a nivel vivienda, las condiciones socioeconómicas actuales y las relacionadas con los servicios de agua y saneamiento con objeto de determinar el número y tipo de tecnologías apropiadas (TA) a transferir y su costo. Las localidades son: en El Oasis, Loma de Malpaís, Ameyalco y Campo Tlacotalco (Atlatlahucan); Kilómetro 10, Col. Cuahquiahuc, Los Ocotes, Hueycuagco y Cacaloapan (Tepoztlán); El Huejote y Barrio San Marcos (Totolapan); Col. Jericó (Tlayacapan) y Rancho Santa Teresa (Yecapixtla). Los resultados indican que se requieren 1,653 tecnologías distribuidas en 231 viviendas (1,200 habitantes) en las 13 localidades, con un costo directo de \$8.5 millones. Se obtuvo que la relación beneficio-costo es de 4.9, la inversión se recupera en el tercer año de operación y los indicadores de rentabilidad son positivos.

Ahora se integran los proyectos ejecutivos con los diseños para incrementar y rehabilitar la infraestructura existente, considerando como fuente alterna de abastecimiento la captación de agua de lluvia, su tratamiento y distribución a la población. Del diagnóstico para el manejo integral del agua, se estudia la factibilidad de transferir las TA para el uso sustentable del agua en localidades con alto grado de marginación.

Con estos proyectos, se busca abastecer a los habitantes con agua en mayor cantidad y con la calidad requerida por la normatividad a nivel comunitario. A nivel vivienda, el volumen de agua almacenada en las cisternas, en lo posible, deberá proporcionar la dotación intermedia recomendada por la Organización Mundial de la Salud, de 50 L/persona/día, para satisfacer las necesidades de higiene, preparación de alimentos, limpieza del hogar, consumo y lavado de ropa al interior de la vivienda durante el periodo de estiaje. Es importante señalar que, junto con el abastecimiento, la propuesta considera el saneamiento del agua. Todo ello permitirá una mejoría en la calidad de vida en las comunidades. Los beneficiarios de los seis proyectos son 20,000 habitantes.



Levantamientos topográficos.



Revisión de la infraestructura para agua potable.



Vivienda sin servicios de agua y saneamiento en El Huejote, Totolapan.

- ***Estudio para la integración de un organismo operador intermunicipal de agua potable en Tequesquitengo, Morelos***

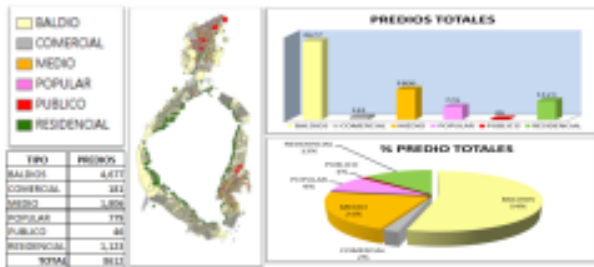
La Comisión Estatal de Agua (CEA) del estado de Morelos solicitó al IMTA realizar un diagnóstico y proponer alternativas para la creación de un organismo operador de agua potable, alcantarillado y saneamiento que brinde servicio a la zona conurbada del lago de Tequesquitengo. Para ello, se deberá presentar una revisión de la estructura tarifaria y subsidios (en su caso) que dé viabilidad financiera al organismo operador y se elaborará un manual organizacional y de procedimientos para la alternativa seleccionada.

Se determinó la situación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la zona de estudio (organizacional, técnica, comercial, financiera, legal, social, de disponibilidad hídrica, y ambiental) específicos de la región y de la zona. Asimismo, se analizaron las proyecciones disponibles de población y se realizaron proyecciones propias, a fin de estimar de mejor manera las demandas de agua potable, alcantarillado y saneamiento al 2030. También, se propusieron alternativas para que el organismo operador intermunicipal preste los servicios con su padrón de usuarios potencial; se efectuaron modelos de simulación hidráulica para tres escenarios distintos; se

integró el anteproyecto de las obras necesarias para su funcionamiento; se revisaron las estructuras tarifarias y subsidios actuales, así como el gasto mensual por concepto de agua; se propuso un esquema tarifario que dé viabilidad financiera al organismo de nueva creación y se integró un manual de operación y procedimientos.

Con este proyecto se contribuye a mejorar los servicios de agua potable de la población de Tequesquitengo, Morelos; disminuir los niveles de contaminación del lago y de sus afluentes; dar una base ambiental y organizacional para el desarrollo sostenible del sector turístico de la región, y plantear un modelo para sistemas de agua en otras zonas metropolitanas del estado de Morelos, tales como Cuautla y Cuernavaca.

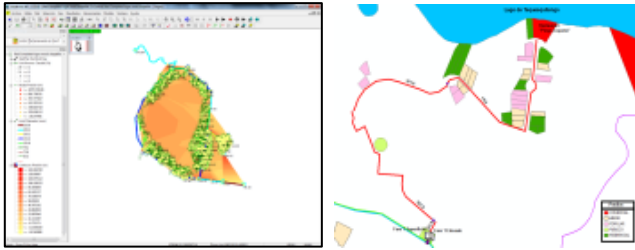
Con los resultados de este proyecto, la CEA contará con mecanismos para integrar un organismo intermunicipal que brinde los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento para las poblaciones de la periferia del lago. Con ello, se mejorará la calidad de vida de la población y disminuirán los niveles de contaminación del lago y sus afluentes. Además, se busca que el proyecto sea un habilitador para el desarrollo turístico de la región.



Padrón potencial para el organismo operador intermunicipal del lago de Tequesquitengo.



Trabajos de campo en la zona de estudio.



Modelo de simulación hidráulico de la red de distribución.



Recorridos de campo en la zona de estudio.



Plano de la red de distribución del poblado San José Vista Hermosa, producto de los recorridos de campo.

- ***Servicios del Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales del Sector Agua (LPEMSA)***

Con la finalidad de apoyar las acciones tendientes a lograr la preservación y uso eficiente del agua, el LPEMSA hace pruebas de evaluación de la conformidad a medidores para agua. Como parte del proceso de certificación, los medidores se evalúan conforme a la norma NOM-012-SCFI-1994 *Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos-Medidores de agua potable- Especificaciones*.

En el marco de la evaluación de la conformidad, al cierre del 2013 se realizaron 95 evaluaciones, de las cuales ochenta corresponden a micromedidores y 15 a macromedidores para agua.

Para que el laboratorio proporcione servicios de evaluación de la conformidad como laboratorio acreditado y con reconocimiento oficial conforme a la Ley Federal de Metrología y Normalización, es necesario demostrar la competencia técnica del LPEMSA ante una entidad de acreditación, que en este caso es la Entidad Mexicana de Acreditación, A. C. (EMA). El LPEMSA opera técnicamente con un Sistema de Gestión de la Calidad vigente y acorde con la normativa nacional e internacional que rige a los laboratorios de pruebas. El LPEMSA tiene acreditadas 11 pruebas.

En septiembre de 2013 el LPEMSA recibió por parte de la EMA el oficio 13LP1457, confirmando que la acreditación MM-101-017/09, correspondiente al LPEMSA, continúa vigente.

Con la evaluación de la conformidad se contribuye al proceso de certificación de medidores para agua, al llevar a cabo mediciones confiables técnicamente válidas que forman parte de la cadena de trazabilidad, tanto nacional como internacional.



Instalación de los medidores para agua en el banco de pruebas de micromedición.



Evaluación de la conformidad.



Recepción de auditoría en evaluación de la conformidad.



Recepción de auditoría al Sistema de Gestión de la Calidad.

- ***Diagnóstico y proyecto ejecutivo del área comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Delicias, Chihuahua (JMAS Delicias)***

Dentro de un programa piloto para mejorar la recaudación de los organismos operadores de agua potable, se desarrolló este proyecto para la JMAS Delicias, con apoyo del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras).

Se realizó el diagnóstico del área comercial en el que se fijaron las áreas de oportunidad más importantes, se estimaron costos de las acciones propuestas, se determinaron beneficios y se efectuaron análisis de rentabilidad privada y social, cuyos resultados mostraron la conveniencia de que las acciones se lleven a cabo.

Con los resultados de este proyecto, la JMAS Delicias podrá ejecutar las acciones de mejora de su área comercial, con el fin de coadyuvar al incremento de la eficiencia comercial y su recaudación.

Así, se detectaron 16 oportunidades principales de mejora.



Prueba de errores de medición en sitio: probador portátil y medida volumétrica de veinte litros.



Curva de errores del medidor de usuario con cuenta 21170900. Resultados dentro de los límites permisibles.



Fachada principal de oficinas centrales y Dirección Comercial.



Área remodelada de espera para aclaraciones y pagos. Se observa el nuevo sistema de turnos.

- **Supervisión de las acciones de modernización del área comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento Chihuahua (JMAS Chihuahua)**

Dentro del programa piloto para mejorar la recaudación de los organismos operadores de agua potable, se desarrolló este proyecto para la JMAS Chihuahua, con apoyo del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras).

Se verificó que la ejecución de las 13 acciones programadas en el proyecto ejecutivo para modernizar la Dirección Comercial de la Junta Municipal satisficiera los requisitos establecidos en el mismo, en cuanto a cantidad, calidad (especificaciones), tiempos (calendario) y costos. Asimismo, se integró la documentación y se hizo el dictamen del grado de cumplimiento.

Por otra parte, se remodelaron las oficinas comerciales, se sustituyeron 40,000 medidores de consumo, se actualizó el equipamiento informático y se realizaron las otras diez acciones de modernización del área comercial.

Los resultados de este proyecto coadyuvarán a que la JMAS Chihuahua mejore su eficiencia comercial e incremente su recaudación, con el fin de allegarse los recursos suficientes para mantener y mejorar el servicio a los usuarios, y operar y mantener la infraestructura hidráulica, incidiendo en la mejora de su eficiencia física.



Selección de una muestra de cien medidores para su evaluación en laboratorio acreditado, sellados y firmados.



Selección de una muestra de cien medidores para su evaluación en laboratorio acreditado.

- ***Supervisión de las acciones de modernización del área comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Hidalgo de Parral, Chihuahua***

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Hidalgo de Parral (JMAS) solicitó al IMTA verificar que la ejecución de 16 acciones programadas en el proyecto ejecutivo para modernizar la Dirección de Comercialización de la Junta, satisfaga los requisitos establecidos en el mismo en cuanto a cantidad, calidad (especificaciones), tiempos (calendario) y costos.

El IMTA revisó y complementó los términos de referencia (especificaciones técnicas) de las 16 acciones a ejecutarse. La JMAS Parral tiene las bases de licitación completas de todas las acciones, a excepción de la acción 13. Actualmente, se encuentra en proceso interno de licitación y adjudicación para la adquisición de bienes y servicios.

Con los avances en este proyecto, se documenta el grado de cumplimiento correspondiente para que la JMAS de Parral pueda demostrarlo ante la entidad financiadora respectiva. Finalmente, las acciones están enfocadas a tres rubros en especial: incrementar el volumen facturado, la recaudación y la eficiencia del personal adscrito a esta Dirección Comercial.

- ***Diagnóstico de planeación integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Valle de Bravo, Estado de México***

A solicitud de la Conagua, este proyecto se llevó a cabo con el objetivo de obtener un plan de desarrollo a corto, mediano y largo plazos para la gestión,

así como para mejorar las eficiencias e inversiones del sistema de agua potable, drenaje y saneamiento, y del mismo organismo operador.

Se obtuvo una serie de indicadores técnicos, comerciales y financieros seleccionados con base en la información proporcionada por el organismo, a fin de analizar su eficiencia operacional, condición financiera y capacidad institucional, así como el potencial que tiene para extender y mejorar la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

El organismo operador del sistema de agua potable de Valle de Bravo atiende casi en su totalidad a una población de 46,460 habitantes de la zona urbana del municipio. Se estima, también, que hay una población flotante de cerca de 30,000 habitantes en casas de descanso y fin de semana, que deben suplir de alguna manera sus necesidades de agua potable, aunque aparentemente no cuentan con servicio del sistema.

Las conclusiones más importantes del diagnóstico son:

- Cobertura de agua potable y de alcantarillado en el municipio al año 2010: 93 y 92%, respectivamente; en la cabecera municipal: 97.4 y 98 por ciento.
- En el Repda hay cinco títulos que amparan 17 aprovechamientos superficiales con un volumen de extracción total de 8,357,454 m³ anuales. Hay otro a nombre del municipio que ampara 3,372,545.25 m³ anuales, considerados como reserva.
- Hay 22 macromedidores mecánicos instalados para 31 tuberías de captación; 15 funcionan pero, en general, no cumplen con los tramos rectos mínimos requeridos.
- Las líneas de conducción descargan por gravedad en 24 tanques de regulación. Se estiman 99 km de líneas en diferentes diámetros y materiales, con una antigüedad de 28 años. Se recomienda revisarlas para ubicar posibles pérdidas físicas y comerciales de importancia.
- Las captaciones incluyen casetas para la cloración del agua, excepto en cinco casos.
- Se tienen 33 tanques de regulación con una capacidad total de 10,143 m³. Requieren de impermeabilización, deshierbe, pintura, cercado y señalización.
- Para agua potable, se tiene sólo una estación de bombeo en el manantial El Durazno.
- La longitud estimada de las redes de distribución es de 118 km. Su antigüedad varía entre treinta y ochenta años, siendo la zona centro la más antigua.

- Se construyó un modelo de simulación hidráulica de la infraestructura de abastecimiento en la plataforma *Infoworks*, luego exportado a *Epanet* para análisis posteriores.
- La red de atarjeas tiene una longitud total aproximada de 65 km; las tuberías son de concreto simple de 30 cm de diámetro, con treinta o cuarenta años de antigüedad.
- Se tienen 21.9 km de colectores y subcolectores para recolectar aguas residuales y llevarlas a los cárcamos de bombeo que las envían a la planta de tratamiento El Arco, de 150 L/s. Los cárcamos de bombeo presentan problemas de operación y mantenimiento que ocasionan que sólo se puedan conducir de 90 a 100 L/s a la planta. Por esto, la cobertura real de saneamiento es menor al 100%, aunque existe capacidad instalada suficiente.
- Existen otras plantas de tratamiento pequeñas que requieren de algunas acciones de mantenimiento y rehabilitación para su correcto funcionamiento.
- En materia organizacional e institucional, la nómina de 8.7 empleados por cada 1,000 tomas del APAS constituye más del 80% de sus costos de operación.
- El padrón de usuarios del APAS, de 10,458 tomas, presenta diversas inconsistencias. Sólo 3,524 cuentan con medidor de consumo, 24% de los medidores funcionan dentro de los límites permisibles y 22% no miden.
- El manejo de las funciones comerciales se hace con el *software COBRA*, no apropiado para un organismo operador de agua potable.
- Del volumen estimado de producción: 8,357,454 m³, se estima que sólo 3,535,050 m³ se facturan. El agua no contabilizada se estima en 58%: 27% pérdidas comerciales y 31% físicas, que se traducen en \$8.5 y \$5.3 millones anuales, respectivamente.

Con los resultados del diagnóstico y ejecución del plan de acciones propuesto se espera que, conforme las acciones prioritarias se vayan ejecutando, en un plazo de dos años los beneficios puedan ser apreciables y, en cinco, se pueda pasar a un siguiente nivel en la clasificación de los mejores organismos del país.



Manantial Los Álamos I, Valle de Bravo, Estado de México.



Agua tratada en la planta de tratamiento de aguas de aguas residuales Valle de Bravo.

- ***Diagnóstico técnico y financiero del sistema de saneamiento de Valle de Bravo, Estado de México***

Este proyecto fue realizado a solicitud de la Conagua con el objetivo de identificar los factores, signos y fuentes de contaminación hídrica dentro de la localidad de Valle de Bravo y su zona conurbada, así como las acciones de saneamiento factibles de realizar a corto, mediano y largo plazos.

El deterioro de la calidad del agua en la presa Valle de Bravo ocurre tanto por la contaminación del recurso hídrico como por el azolvamiento gradual del vaso, producto del proceso de deforestación-erosión en su cuenca de 61,548 ha, conformada por siete municipios, 124 localidades y más de 103,000 habitantes. Si no se resuelven estos dos problemas centrales, la calidad del agua no podrá mejorarse de forma sostenible. Se calculó una cobertura de tratamiento de agua residual en Valle de Bravo del 82% y, en Amanalco del 0 por ciento.

Se georreferenció en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco cada uno de los componentes del sistema de saneamiento (cárcamos de bombeo, plantas de tratamiento de aguas residuales, descargas de agua residual doméstica, colectores y piscifactorías) que se consideraron influyen, principalmente, en la aportación de contaminantes a la presa Valle de Bravo.

Con respecto a la calidad del agua de los ríos influentes y descargas de aguas residuales domésticas a dicha presa, se definieron veinte puntos de muestreo (diez de descargas y diez de ríos), en dos periodos: lluvias, julio de 2013, y estiaje, noviembre de 2013.

Del análisis de la calidad del agua en los dos periodos, se demostró que existe contaminación por descarga directa de aguas residuales domésticas a la presa,

desde los puntos: La Peña, La Costera y Capitanía, principalmente por coliformes fecales, encontrándose valores hasta de 9.29×10^6 NMP/100 mL, y grasas y aceites en dos puntos, 39 y 74.2 mg/L, valores que no cumplen con los límites máximos permisibles indicados en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Con respecto a los ríos influentes a la presa, Amanalco, Molino-Los Hoyos y Tizates, son los que mayor contaminación aportan: coliformes fecales (4.30×10^3 – 1.50×10^5 NMP/100 mL), nitrógeno amoniacal (0.691-3.85 mg/L), fósforo total (0.32-0.54 mg/L) y sólidos suspendidos totales (37-288 mg/L), valores que no cumplen con los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua CE-CCA01/89, como fuente de abastecimiento y protección a la vida acuática (agua dulce).

Se concluye que existe una alta contaminación por influencia antropogénica, por lo que es necesario que todas las descargas se conecten a la red de alcantarillado y, por ende, a la planta de tratamiento correspondiente.

En resumen, con el presente diagnóstico se identificaron acciones asociadas con el tratamiento de aguas residuales:

A corto plazo (dos-tres años): 1) Elaborar proyectos ejecutivos y construir plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Santa María Pipioltepec y San Francisco de Mihualtepec, 2) Evaluar eficiencias de los reactores anaeróbicos de flujo ascendente domiciliarios instalados en: Santa María Pipioltepec, La Peña, San Lucas y Santa María, 3) Evaluar integralmente el funcionamiento y eficiencias de las PTAR del rastro de Valle de Bravo y Amanalco, para asegurar el cumplimiento de la normatividad en sus descargas, 4) Estudiar alternativas para tratamiento de efluentes de piscifactorías ubicadas en Valle de Bravo y Amanalco, y 5) Estudiar la factibilidad socioeconómica para sustitución de fosas sépticas por alcantarillado sanitario en Avándaro.

A largo plazo (veinte años): 1) Elaborar proyecto ejecutivo y construir una PTAR de 15 L/s, para recibir red de alcantarillado sanitario de Avándaro.

Las acciones consideradas que buscan fortalecer el saneamiento de la calidad del agua del embalse ascienden a una inversión de \$179,187,362: a corto plazo, \$78,824,624 y, a largo plazo, \$100,362,738.



Sistema de saneamiento actual, Valle de Bravo, Estado de México.



Descarga de agua residual doméstica y agua pluvial, La Pera (Embarcadero), Valle de Bravo, Estado de México.



Planta de tratamiento de agua residual Rastro, Valle de Bravo, Estado de México.

- **Elaboración del Diagnóstico integral para la planeación, en las localidades de Chetumal, Playa del Carmen, Cozumel y Tulum**

La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo solicitó al IMTA elaborar el estudio *Diagnóstico integral para la planeación, en las localidades de Chetumal, Playa del Carmen, Cozumel y Tulum*, con objeto de lograr la

autosuficiencia técnica, financiera y ambiental de las gerencias ubicadas en los lugares mencionados.

Se recopiló la información técnica, financiera y ambiental de dichas gerencias y, con base en ella, se desarrollaron los siguientes rubros:

Diagnóstico integral de las gerencias: con base en los indicadores técnicos financieros, se determinaron las condiciones de cada gerencia, así como con visitas de campo y reuniones de trabajo con los subgerentes de cada lugar para validar la información.

La proyección y programa de acciones: con base en las necesidades detectadas mediante los indicadores y visitas, se determinaron las acciones y proyección de población; asimismo, se tomaron en cuenta las reportadas por personal de la misma gerencia. Posteriormente, se jerarquizó la importancia de cada acción para obtener el programa de acciones de cada gerencia.

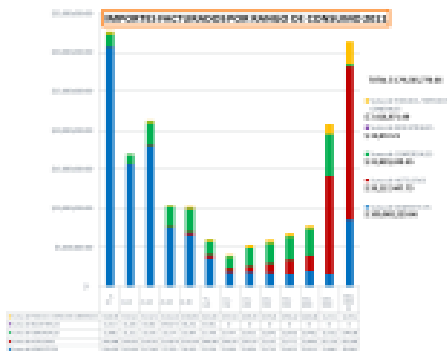
El modelo técnico financiero y análisis de sensibilidad de las gerencias: con base en la información recopilada y el programa de acciones, el IMTA efectuó el modelo técnico financiero para cada localidad, considerando los escenarios de inversión, proyección de población, mejora en los indicadores y capacidad financiera de la gerencia.

Informe final que incluye el reporte de cada localidad: con base en los resultados del modelo técnico financiero se obtuvieron las conclusiones del diagnóstico para cada localidad del estudio que, en general, abarca el diagnóstico integral de cada gerencia, proyecciones de población, programa de acciones, modelo técnico financiero y las recomendaciones.

Con los resultados del diagnóstico, Quintana Roo dispone ahora de un programa de acciones priorizado para la gestión y mejora de eficiencias e inversiones de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado en las cabeceras municipales de Othón P. Blanco (Chetumal), Solidaridad (Playa del Carmen), Cozumel (Cozumel) y Tulum (Tulum), a corto (uno-dos años) y mediano plazos (tres-cinco años), para mejorar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en un marco de autosuficiencia técnica, financiera y ambiental. Así, se benefician más de 500, 000 habitantes del estado, lo que representa el 30 % de su población total.



Diagrama de flujo del modelo técnico financiero.



Balance de los importes facturados en Playa del Carmen.

- **Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores**

El Instituto evalúa, desde 2005, el desempeño de organismos operadores de agua potable al interior del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO).

En 2013 se tenía la meta de incorporar, al menos, 110 organismos operadores; al final del mismo año, se obtuvo información de 145 organismos que abastecen, según sus reportes, a 56,426,302 de habitantes. El total de habitantes de las 187 ciudades que han participado en diferentes etapas en el PIGO, asciende a 66,348,641 habitantes, que representan el 59% del total de habitantes en el país.

Como resultado de los ejercicios realizados en el periodo 2005-2013, se ha obtenido un registro amplio y metódico que describe la evolución del trabajo de los organismos operadores, tanto en la situación particular de cada uno de ellos, como en su posición respecto a sus pares. Todo esto, mediante una batería de indicadores que han pasado de 12, en 2005, a 28, en 2013.

El problema comúnmente detectado en respuesta a la solicitud de información es el cambio de gobierno, dado que muchos de ellos, al comenzar su administración, no cuentan con información de años anteriores.

Con estos indicadores, cada organismo puede apoyarse para el diseño de sus políticas públicas de cobertura de servicio y realizar acciones de mejora o prevención, verificables en el siguiente ejercicio. La información de evaluación de desempeño de los organismos participantes se publica periódicamente en la página web: www.pigoo.gob.mx, donde puede ser consultada por ellos y la sociedad en general.



Sitio PIGOO.



Ciudades participantes.

- ***Diagnóstico simplificado de los organismos operadores de agua potable y alcantarillado en las cabeceras municipales de Campeche, Benito Juárez y Mérida***

La Fundación Gonzalo Río Arronte colabora con el IMTA en el desarrollo del Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán. Dentro de este marco, se iniciaron acciones emanadas del Plan Rector en su primera etapa, la cual incluye el diagnóstico integral de planeación y modelación hidráulica en las cabeceras municipales de Campeche (Campeche), Benito Juárez (Cancún) y Mérida (Mérida).

Se ha iniciado la recopilación de información de las tres localidades que, al final del proyecto, incluirá los siguientes resultados: diagnóstico integral de planeación; modelo de simulación en *Epanet*, desarrollado por la Environmental Protection Agency; balance hidráulico de la red de distribución de agua potable; evaluación integral en los aspectos institucionales, técnicos operativos, comerciales, contables financieros y legales; programas de acciones priorizadas para la gestión y mejoras de eficiencias para los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en un marco de autosuficiencia financiera y ambiental; modelo técnico financiero con horizonte de planeación a treinta años; análisis de sensibilidad; reuniones de planeación, diagnóstico, gestión, implementación, validación, entrega y seguimiento; taller regional de capacitación en modelación hidráulica aplicada a redes de distribución usando programas de cómputo, y taller regional sobre la metodología de los diagnósticos integrales de planeación.

Asimismo, se celebraron reuniones en cada ciudad para mostrar los alcances y solicitar el apoyo de cada organismo operador. En la ciudad de Mérida, la reunión se sostuvo con personal de la Conagua (organismo de cuenca y delegación Yucatán), Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY) (gobierno del estado) y el ayuntamiento de Mérida para mostrar los alcances. La JAPAY se comprometió a colaborar con la información necesaria.

En la ciudad de Campeche, la reunión se llevó a cabo con personal de la Conagua (delegación Campeche) y Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Campeche (SMAPAC) (municipio). El personal de éste se comprometió apoyar la información requerida para los trabajos.

Por último, en la ciudad de Cancún hubo una reunión con personal de la Conagua (organismo de cuenca y delegación Quintana Roo), la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo (CAPA) (gobierno del estado) y Aguakan (prestador de servicio). En ella, se estableció que la CAPA sería la encargada de recopilar la información de los trabajos para posteriormente entregarla al Instituto.

Con estas acciones, se beneficiará de forma directa a más de dos millones de personas y, adicionalmente, a más de tres millones de beneficiarios

potenciales. Dado que se incrementarán las coberturas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, se reducirá el impacto al acuífero por descargas de aguas residuales, se incrementará la conservación de cenotes, aumentará la eficiencia en el uso del agua en los principales núcleos urbanos, se incrementará el tratamiento de aguas residuales y, por último, se darán las herramientas para obtener inversiones federales, estatales y municipales hacia proyectos de agua y medioambiente.

Además, a los organismos operadores se les proporcionará el modelo de simulación hidráulica de la red de agua potable, como herramienta para cada ciudad.

Todo esto, con el fin de llevar a cabo acciones en el corto, mediano y largo plazos que permitan la recuperación ecológico-ambiental de la península de Yucatán, identificando los elementos necesarios para el manejo sustentable de los recursos naturales y el medio ambiente, facilitando el trabajo comunitario y el incremento de la calidad de vida y de la cultura ambiental.

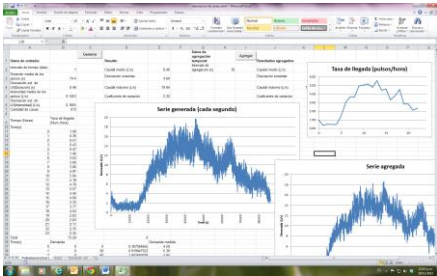
- ***Modelación y diseño de redes de agua potable con demanda estocástica integrados con sistema de información geográfica***

Las actividades del proyecto incluyen la aplicación en, al menos, organismos operadores de agua potable del país, definido de común acuerdo con la Conagua. Se seleccionaron la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento (CMAS) de Xalapa, Veracruz, y la Comisión de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), B.C. Con la ayuda de la CESPT se obtuvieron datos de mediciones de caudal en diferentes sitios en la ciudad de Tijuana. Se desarrolló un procedimiento de simulación del consumo de agua potable en un domicilio, o en un grupo de domicilios, basado en el método de los pulsos rectangulares de Poisson (Método PRP), con generación de series sintéticas de consumo. Se asume que los pulsos de demanda ocurren en instantes aleatorios con cierta frecuencia, llamada “tasa de llegada”, expresada en pulsos por unidad de tiempo, y que cada pulso tiene una duración e intensidad aleatorias. La tasa de llegada varía durante el día, por lo que se tiene un proceso de Poisson no homogéneo. Las series generadas se compararon con las series medidas. La coincidencia resultó muy adecuada.

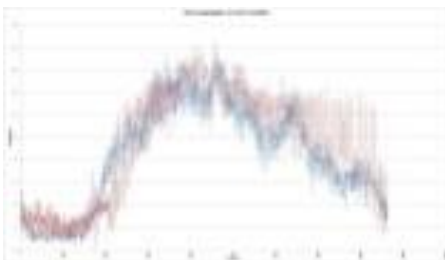
Por otro lado, se trabaja sobre un modelo de tinaco en acrílico en tamaño real, en el laboratorio de Hidráulica perteneciente al Posgrado en Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México Campus Morelos, para pruebas experimentales de mezcla y movimiento del agua en tanques y depósitos

intradomicilarios, y su influencia en el servicio intermitente del agua potable. En una tercera línea del proyecto, se trabaja con la Segunda Universidad de Nápoles, Italia, sobre metodologías de diseño óptimo automatizado de la sectorización de las redes de distribución de agua potable, con quienes se firmó un convenio de colaboración y ya se tienen varios artículos conjuntos publicados en revistas internacionales arbitradas y en congresos.

El proyecto empezó en 2013 y continuará en 2014. Se espera que tenga, ante todo, impacto científico. En particular, se tienen en proceso dos programas doctorales.



Ventana con datos y resultados de la ejecución en Excel, del procedimiento de generación de series sintéticas de demanda.



Comparación entre las series medida y sintética agregada, ambas a 30 segundos.

- ***Caracterización del cauce en los ríos Carrizal y Sierra en las cercanías de las obras de toma con objeto de localizar sitios potenciales para la construcción de obras de captación subterránea, municipio Centro Tabasco***

El Sistema de Agua y Saneamiento del Ayuntamiento Centro (SASC) de Villahermosa, Tabasco, toma agua superficial de los ríos Carrizal y Sierras para abastecer a la población. El SASC cuenta con las obras de toma Isla I (250 L/s), Isla II (250 L/s), Carrizal (1,000 L/s), Villahermosa 1 (1,000 l/s), Villahermosa 2 (1,000 L/s) y Parrillas (500 L/s). Las obras de toma presentan

problemas en su operación debido a que, en épocas de estiaje, la columna de agua requerida por los equipos de bombeo debe ser modificada; además, el contenido de sólidos en suspensión deteriora rápidamente los equipos de bombeo y les demanda mayor empleo de químicos para potabilizar el agua.

La Conagua solicitó al IMTA analizar la posibilidad de construir captaciones que extraigan agua del subálveo por medio de pozos radiales, batería de pozos u otro tipo de captaciones subterráneas para obtener agua con un gasto constante, libre de sólidos suspendidos y que aproveche al subálveo como un filtro natural.

Por ello, se requirió caracterizar los bancos de arena dispuestos en el lecho del río, así como los bajos topográficos aledaños a la margen del río y los antiguos meandros para evaluar el potencial hidráulico de los mismos.

Los resultados muestran que en la zona existe una distinción entre el acuífero Samaría-Cunduacan, el agua del subálveo y el río.

El acuífero Samaría-Cunduacán es de tipo semiconfinado, ya que se aprecia un paquete arcillo-arenoso que contiene una serie de lentes de arenas y gravas. Las profundidades del nivel piezométrico se distribuyen, en lo general, de oeste a este, entre el 1 a 16 m, observándose la formación de un cono de abatimiento en la zona de Villahermosa. La elevaciones del nivel piezométrico oscila entre los 18 m (al oeste) y 5 m (este), con direcciones de flujo que se centran en la zona urbana de Villahermosa.

La hidrogeoquímica indica la presencia de fierro y magnesio en el agua subterránea.

El subálveo está compuesto de sedimentos del Cuaternario, los cuales se caracterizan por contar con espesores variables (1 y 10 m) que se extienden lateralmente e interdigitan con paquetes de arcillas y limos que se distribuyen en la cercanía de la zona riverense del río Carrizal. Los paquetes arenosos se distinguen por la presencia de arenas medias a finas (1 a 0.12 mm), con permeabilidades de 3.33 m/d.

Las características hidrogeoquímicas del agua del subálveo son similares al río, lo que indica que el agua contenida en dicho estrato circula por los sedimentos que componen el lecho del río (arenas medias) y los estratos permeables que les subyacen.

Se identificaron dos sitios potenciales para la construcción de los pozos radiales en las inmediaciones de las obras de toma Isla I y II.

- **Estudio hidrogeológico de los acuíferos El Hundido y La Paila, Coahuila**

La Conagua, a través de su Dirección Local en Coahuila llevó a cabo un Convenio de Colaboración con el IMTA para realizar el *Estudio geohidrológico de los acuíferos El Hundido y La Paila*.

El principal objetivo fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos, a fin de contar con información necesaria para determinar la recarga media anual y la disponibilidad de agua subterránea de los acuíferos en estudio, así como entender la problemática del agua en la zona y sustentar el ordenamiento jurídico requerido en ambos acuíferos.

Para el cálculo del balance y la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000.

Los resultados muestran que en el acuífero El Hundido, las entradas menos las salidas ascienden a $-25.8223638 \text{ hm}^3/\text{año}$, reflejando que se encuentra sobreexplotado, mientras que la disponibilidad del agua subterránea es de $-5,177,265.2 \text{ m}^3/\text{año}$.

Para el acuífero La Paila, el balance hidrológico subterráneo muestra que las entradas menos las salidas proporcionan un cambio de almacenamiento negativo de aproximadamente $-18.49219648 \text{ hm}^3/\text{año}$, reflejando también que el acuífero se encuentra sobreexplotado. La disponibilidad del agua subterránea para este acuífero resulta ser de $11.0576201 \text{ hm}^3/\text{año}$.

A pesar de que el resultado de la aplicación de la norma indica que actualmente no existen volúmenes adicionales para otorgar concesiones en el acuífero El Hundido, y que existe disponibilidad de agua subterránea en el caso de La Paila, se recomienda realizar una revisión técnico-administrativa de los registros del Repda, ya que los valores actualmente registrados son muy inferiores a los volúmenes de extracción real de cada acuífero.

- **Identificación de nuevas fuentes de abastecimiento para la empresa Patrón Spirits México**

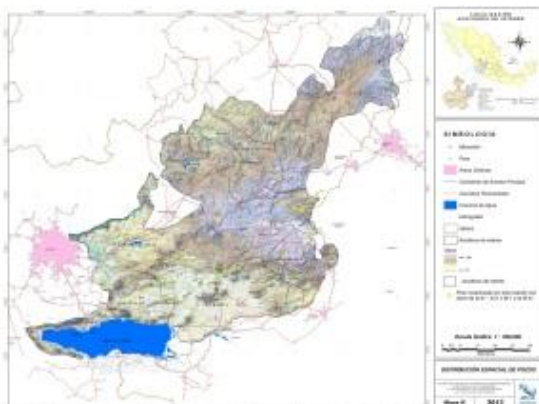
La empresa Patrón Spirits de México (Patrón) requiere localizar nuevas fuentes de agua subterránea para abastecer su planta de producción ubicada

en el acuífero Ocotlán, Jalisco, ya que su pozo de producción experimentó una disminución en el periodo 2006-2012.

Derivado de la problemática, los directivos de la empresa requieren conocer nuevos sitios para la extracción de agua subterránea, considerando el gasto y la calidad química. El IMTA propuso un estudio prospectivo, donde se contempló el análisis de diversas variables geohidrológicas con objeto de identificar las zonas con mayores posibilidades para la extracción del agua subterránea.

La información recopilada y generada se integró en bases de datos para su manejo y despliegue en un sistema de información geográfica, con el que se identificaron los nuevos sitios para la explotación de agua subterránea.

Los sitios recomendados cuentan con características geohidrológicas y de calidad del agua “similares” a los que actualmente tiene la empresa, a fin de no interferir en la calidad del tequila que produce la empresa.



- ***Distribución espacial de los sitios donde se tienen resultados de los análisis químicos que se utilizaron en la interpretación hidrogeoquímica, estudio de plan de manejo integrado del acuífero Valle de Mexicali, Baja California, y plan de manejo integrado del acuífero Valle de San Luis Río Colorado, Baja California y Sonora***

Debido a la reciente división administrativa de la unidad geohidrológica que subyace al Valle de Mexicali, los integrantes del Consejo de Administración del Distrito de Riego y el Consejo Directivo de los Módulos de Riego del Río Colorado solicitaron a la Conagua, y ésta al IMTA, la realización de un estudio

de manejo integrado de la cuenca geohidrológica del Valle de Mexicali y la Mesa de San Luis Río Colorado, Sonora.

Para ello, se planteó hacer un balance integral y los balances parciales para los acuíferos de San Luis Río Colorado, Sonora y Valle de Mexicali, actualizar los estudios geohidrológicos, definir la disponibilidad con base en el estudio actualizado y los nuevos balances, además de calibrar un modelo matemático, concluyendo con planes de manejo integrados para la explotación, uso y aprovechamiento sustentable de los acuíferos.

Por la magnitud del estudio, en la primera etapa se llevó a cabo la conceptualización de la operación real de las aguas superficiales-aguas subterráneas; el inventario total de la infraestructura hidráulica para la extracción de aguas subterráneas del Valle de San Luis Río Colorado, Sonora, y en el Valle de Mexicali; la nivelación de la Red de Monitoreo Piezométrica y la definición del modelo conceptual actualizado de toda la unidad geohidrológica y por acuífero.

Los resultados del censo mostraron que se extraen 900 hm³ al año del acuífero, de los cuales 700 hm³ se utilizan en la agricultura y 200 hm³ para provisión de agua potable. De la caracterización de la operación de las aguas superficiales, se definió que México recibe anualmente del flujo del río Colorado la cantidad de 1,850 hm³, con una salinidad promedio de 1,200 ppm. Con base en la nivelación piezométrica y las profundidades del nivel estático, se elaboró un mapa de elevaciones piezométricas, a partir del cual se definieron las siguientes recargas al acuífero:

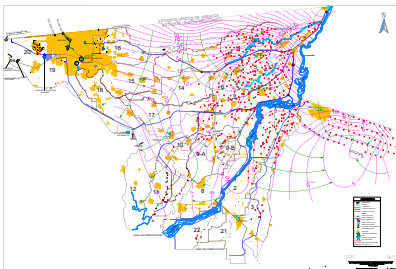
- Flujo horizontal en la frontera norte, entre el estado de California, EUA, y el estado de Baja California.
- Flujo horizontal en la frontera norte, entre el estado de Arizona y Sonora.
- Flujo horizontal en la frontera norte, en la sección donde el río Colorado es el límite entre México y Estados Unidos de América.
- Flujo vertical proveniente de los retornos de riego (módulo 6).
- Flujo vertical de la infiltración del canal alimentador del sur.



Nivelación de la red piezométrica.



Censo de pozos.



Mapa de elevaciones piezométricas 2013.

- ***Diseño y construcción de una planta potabilizadora de campaña***

Mediante convenio de colaboración con la Secretaría de la Defensa Nacional (Sedena), el IMTA diseñó y supervisó la construcción de un prototipo de planta potabilizadora móvil que permitirá al personal del ejército mexicano proveerse de agua apta para uso y consumo humano durante las operaciones de campaña y de apoyo a la población civil. La construcción del prototipo estuvo a cargo de personal de la misma Secretaría.

La planta potabilizadora podrá potabilizar hasta 1 L/s de agua, e incluye tres trenes de tratamiento enfocados a diferentes calidades: 1) fuentes superficiales, cuyos principales contaminantes sean la turbiedad y el color; 2) fuentes superficiales con turbiedad y/o color, pero que además contengan contaminantes disueltos y 3) aguas claras (subterráneas o superficiales de muy baja turbiedad) que deban ser tratadas para remover elementos disueltos como arsénico, flúor, dureza, o cualquier otro tipo de sales. El agua potabilizada podrá envasarse o almacenarse en un tanque para su entrega a los usuarios.

Como parte del convenio, se realizó el curso de capacitación teórico y práctico *Fundamentos de los procesos de potabilización y operación de plantas potabilizadoras*, al que asistió un grupo de 21 elementos de la Sedena. Dicho curso se celebró en el centro de capacitación del Instituto.



Capacitación sobre operación de plantas potabilizadoras a personal de la Sedena.



Vista de la planta potabilizadora durante la etapa de construcción.

- ***Estudio geohidrológico y de calidad del agua para determinar las fuentes de contaminación del agua por arsénico, y elaboración de proyectos ejecutivos para resolver la problemática en pozos profundos de Emiliano Zapata y Xochitepec***

En pozos de abastecimiento de agua de los municipios de Emiliano Zapata y Xochitepec, Morelos, se han detectado altas concentraciones de arsénico (As) y dureza. Con el fin de atacar esta problemática, en el presente proyecto se realizó una caracterización hidrogeoquímica e isotópica de los acuíferos de Cuernavaca y Zacatepec, y se elaboraron los proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras para remover estos contaminantes.

Adicionalmente, se efectuó el aforo, revisión de la infraestructura y diagnóstico de la calidad de agua, de acuerdo con la modificación del año 2000 de la NOM-127-SSA1-1994, de 13 pozos de abastecimiento, así como el análisis de disponibilidad de terreno para las plantas.

Se seleccionaron ocho pozos factibles para instalar las potabilizadoras y se hicieron pruebas de tratabilidad para definir la mejor tecnología; después, se elaboraron sus proyectos ejecutivos. Para los pozos de Emiliano Zapata, donde las concentraciones de As varían entre 0.04 y 0.08 mg/L, se seleccionó la tecnología de filtración directa con cloruro férrico. Para los pozos de Xochitepec, donde la concentración de As fue cercana a 0.03 mg/L y la dureza sobrepasa la norma, se seleccionó la tecnología de nanofiltración, misma que fue validada a través de pruebas in situ, utilizando una planta piloto móvil, obteniéndose eficiencias promedio de 96% para el As y 90% para la dureza total.



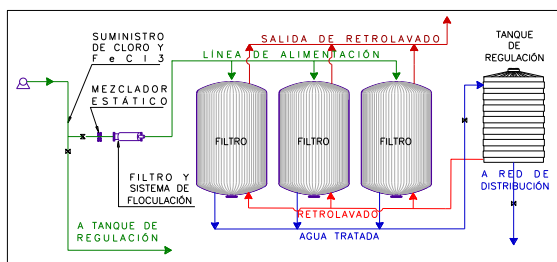
Planta piloto de membranas de nanofiltración, donde se realizaron pruebas in situ para remoción de As y dureza en el municipio de Xochitepec.

- ***Proyectos ejecutivos de dos plantas potabilizadoras a pie de pozo para remoción de arsénico y dureza en fuentes de abastecimiento de Morelos***

En agua de pozos del municipio de Villa de Ayala, Morelos, se ha detectado la presencia de arsénico a concentraciones que rebasan los límites permisibles (0.025 mg/L) que marca la modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Debido a esto, la Comisión Estatal del Agua de Morelos encargó al IMTA la elaboración de los proyectos ejecutivos para la instalación de plantas potabilizadoras en los pozos de Buena Vista y Tenextepango. En estos pozos, las concentraciones de arsénico fueron de 0.027 y 0.042 mg/L, respectivamente, y para ellos se seleccionó el sistema de filtración directa con cloruro férrico.

Se participó en la gestión para obtener los terrenos para las plantas y se efectuaron los estudios de ingeniería básica (topografía, mecánica de suelos y caracterización del agua), dimensionamiento hidráulico, selección de equipos, arreglo y cálculos hidráulicos y eléctricos, así como simulaciones en *EPANET*, para la elaboración de los proyectos ejecutivos.



Esquema general de sistema de potabilización y líneas de conducción.

- **Estudio y asesoría técnica para la licitación e instalación de plantas potabilizadoras a pie de pozo para remoción de arsénico en Torreón, Coahuila (segunda etapa)**

El IMTA se sigue sumando a los esfuerzos de los tres niveles de gobierno para combatir el hidroarsenicismo en la Región Lagunera, específicamente en Coahuila, donde en la primera etapa (2011) se construyeron siete plantas potabilizadoras a pie de pozo para remover arsénico (As) en el agua destinada al uso y consumo humano. Dichas plantas aplican un proceso de filtración directa con cloruro férrico y el agua tratada cumple con las concentraciones permisibles de As que establece la modificación del año 2000 a la NOM-127-

SSA1-1994. Las plantas son operadas por Sistema Municipal de Agua y Saneamiento de Torreón, Coahuila (SIMAS).

En 2013 el IMTA elaboró los diseños ejecutivos para la construcción de otras tres plantas más, que están siendo instaladas en los pozos 16R, 35 y 50R de Torreón, En ambos casos, la participación del IMTA ha consistido en la elaboración de los diseños funcionales, los términos de referencia para la licitación pública y el seguimiento a la construcción y el arranque de las plantas.

Para las tres últimas plantas construidas, el IMTA elaboró los proyectos ejecutivos y verificó durante la construcción el cumplimiento de los mismos. También, se asistió al SIMAS durante las pruebas hidrostáticas de los tanques para verificar su estanquidad e integridad. Las plantas iniciarán su operación en 2014.



Instalación de tuberías, conexiones y accesorios en tren de filtración del pozo 35.



Múltiple distribuidor de agua con recubrimiento primario epóxico en Interior de un tanque.

- ***Estudio de tratabilidad y coexposición a arsénico y fluoruros en agua de bebida***

En la república mexicana se tienen por lo menos 15 acuíferos en los que coexisten fluoruros (F-) y arsénico (As), poniendo en riesgo la salud de la

población que ingiere de manera habitual el agua extraída de ellos, dado su potencial para alterar el sistema hormonal.

Se llevó a cabo un estudio de tipo ecológico (encuesta y datos de monitoreo del agua), a fin de evaluar la coexposición a estas especies químicas y su posible asociación con las tasas de mortalidad por enfermedades endócrinas. Con la información disponible para cuatro municipios de Guanajuato y 11 de Hidalgo, se estimó que el agua de consumo aporta al organismo humano entre el 56 y 78% de los fluoruros y, prácticamente, el 100% del arsénico. Aunque este tipo de estudios no son suficientemente robustos para determinar causalidad, se identificaron asociaciones significativas entre la concentración de As y F⁻ en agua y las tasas de mortalidad debidas a enfermedades endócrinas y metabólicas, diabetes Mellitus tipo II, enfermedades hipertensivas, del aparato urinario e insuficiencia renal, lo que evidencia las necesidades de tratamiento del agua para consumo humano.

En lo que respecta al tratamiento de agua para remover simultáneamente F⁻ y As, el estudio se enfocó a evaluar la capacidad de adsorción de cuatro materiales: carbón de hueso (CH), alúmina activada (AA), lodo obtenido (en su forma seca) como subproducto del proceso de electrocoagulación (LEC) y el de una planta potabilizadora de clarificación convencional (LLB). Los resultados muestran que la AA es el más eficiente. El costo para potabilizar agua con 2.6 mg/L de fluoruros y 0.1 mg/L de As, empleando AA, es de \$3.8/m³, valor que supera al costo de tratamiento de agua con características similares por un proceso de nanofiltración (obtenido en un estudio previo) que se estima en \$2.5/m³.

Dado que el 90% del costo de tratamiento con AA se debe al material adsorbente, es conveniente profundizar el estudio con el LEC y el LLB, ya que estos materiales son remanentes de otros procesos y no implican un costo por el material en sí, mas que el del transporte al lugar donde se emplearían.



Pruebas de adsorción de fluoruros y arsénico con carbón de hueso en columnas a pequeña escala.

- ***Análisis de factibilidad del reúso de agua residual tratada con fines de uso y consumo humano (primera parte)***

El Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guanajuato (SIMAPAG) evalúa la factibilidad de enviar el agua residual tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Centro, hacia la presa La Esperanza, y conectar ésta con la presa La Soledad, a fin de incrementar el volumen de agua disponible para su potabilización.

Lo anterior es técnicamente viable si se tiene certeza de la inocuidad del agua, motivo por el cual el SIMAPAG solicitó al IMTA evaluar el riesgo de exposición a contaminantes emergentes (CE) a través del agua de consumo, así como identificar los CE presentes en el agua residual tratada. La evaluación se basó en una encuesta aplicada a quinientos residentes de la ciudad y un monitoreo de calidad del agua de la potabilizadora y la PTAR, para identificar parámetros regulados en la normativa mexicana, compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos semivolátiles (COSV), fármacos, hormonas y productos para el cuidado personal (PPCP).

En el efluente de la potabilizadora se identificaron 160 CE, de los cuales, exceptuando el mestranol, ninguno representa un riesgo sanitario inmediato. No obstante, los efectos a mediano y largo plazos son ahora desconocidos, por lo que es necesario optimizar los procesos para cumplir cabalmente con la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 e implementar filtración en carbón activado para remover CE.

En el efluente de la PTAR se detectaron: hormonas (mestranol, estrona), fármacos (metformina, naproxeno, acetaminofen), antibióticos (sulfametoxazol, trimetropim), PPCP y productos de consumo (DEET — ingrediente utilizado en repelentes de insectos—, cafeína, 1,7-dimetilxantina, anfetaminas y drogas ilícitas). Sin embargo y dado que habrá un factor de dilución en las presas y postratamiento en la potabilizadora, se sugiere en la PTAR la adición de un proceso de remoción de fosfatos a fin de evitar la eutroficación de las presas.



PTAR Centro.



Potabilizadora Los Filtros.

- ***Análisis de riesgos sanitarios por la presencia de contaminantes emergentes y no regulados en fuentes de abastecimiento superficiales afectadas por aguas residuales en las localidades de Guanajuato, Guadalajara y Valle de Bravo***

Como complemento al estudio iniciado por el SIMAPAG y dado que las fuentes de abastecimiento se encuentran potencialmente afectadas por contaminación puntual o difusa, la Conagua solicitó al IMTA llevar a cabo una segunda etapa de evaluación en Guanajuato; analizar riesgos sanitarios por la presencia de contaminantes emergentes (CE) en la potabilizadora Miravalle, Guadalajara, Jalisco; la PTAR de Valle de Bravo, Estado de México, y realizar pruebas de tratabilidad en sitio para la remoción de CE.

Globalmente, se detectaron más de 1,300 CE, considerando aguas crudas y tratadas. Consistentemente con los datos de la primera etapa en Guanajuato, el riesgo actual es la exposición a mestrano; no obstante, es prioritario en los tres sitios de estudio el control de hormonas, antibióticos, analgésicos no esteroideos e hipotensores, entre otros fármacos, así como cafeína, DEET, productos para el cuidado personal, anfetaminas y otras drogas ilícitas.

En Guadalajara es necesario el control de descargas de aguas residuales al lago de Chapala y al canal Las Pintas. En la potabilizadora de Guadalajara y la PTAR de Valle de Bravo, se hicieron recomendaciones de rehabilitación y optimización de los procesos para que el agua tratada cumpla con la normatividad vigente.

Las pruebas de tratabilidad se efectuaron con el efluente terciario de la PTAR Centro, Guanajuato, y con el agua producto de las potabilizadoras. Se probaron dos sistemas: adsorción en carbón activado (CA) y ozonación+adsorción en CA. Los resultados mostraron que la adsorción en CA garantiza una remoción superior al 99.5% de fármacos, hormonas y PPPCC, tanto con el efluente terciario de la PTAR como con el agua producto de las plantas potabilizadoras, por lo que esta agua puede ser considerada inocua. Con Ozono+CA es posible alcanzar el 100% de remoción de CE; sin embargo, esto no justifica la inversión ni los costos de operación de un sistema de ozonación, dado que a este nivel la disminución de riesgos sanitarios ya no es significativo.



Pruebas de oxidación avanzada (ozonación) y adsorción en carbón activado.



Potabilizadora Miravalle.

- ***Eliminación de contaminantes orgánicos emergentes mediante fotocátalisis heterogénea con TiO_2 , empleando luz solar***

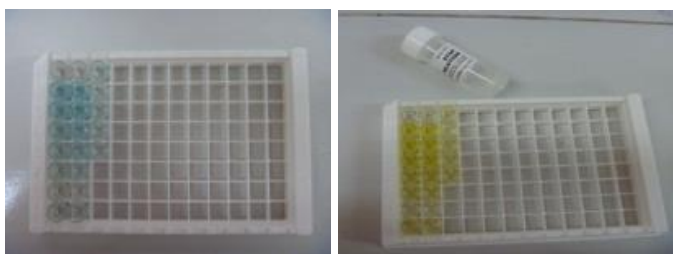
El uso de la fotocatalisis heterogénea con TiO_2 empleando luz solar es una alternativa para el tratamiento del agua, explorada en el ámbito internacional en las últimas décadas. Este y otros procesos avanzados de oxidación han mostrado su utilidad en la remoción de contaminantes recalcitrantes, tóxicos y no biodegradables.

El estudio consistió en la preparación, a escala laboratorio, de un catalizador de TiO_2 en forma de películas delgadas impurificadas con plata y la determinación de su capacidad fotocatalítica. Del estudio, se estimó un costo del tratamiento del orden de $\$97/\text{m}^3$ que incluye: reactivos, costos energéticos, gastos asociados a la caracterización del catalizador y costo de equipos a renovar cada diez años.

Desde el punto de vista del proceso, la inmovilización del catalizador es altamente ventajosa, ya que permite el tratamiento sin etapas adicionales de separación del mismo. El impurificamiento con plata, en las condiciones probadas, no representó una ventaja importante en el desempeño del catalizador, el cual se evaluó a través de la degradación de carbamazepina (fármaco modelo del grupo de los llamados contaminantes emergentes), por lo que su uso no resultó atractivo.

El catalizador puede utilizarse de manera continua durante al menos dos años; sin embargo, del análisis de costos para una unidad fotocatalítica para tratar el agua de rechazo de un módulo piloto de ósmosis inversa de un litro por segundo, se concluyó que el proceso no tiene actualmente un nivel de costo-beneficio conveniente.

Actualmente, los costos de este tipo de procesos a nivel internacional llegan a ser de 4.5 euros/ m^3 , lo que indica que se requiere más investigación para producir el catalizador de manera industrial, así como disminuir los costos de los colectores solares, para que esta tecnología sea competitiva.



Para medir la capacidad fotocatalítica se midió la concentración de carbamazepina por ELISA, antes y después del tratamiento. Aquí, cambios en la última fase de la cuantificación.

- **Mantenimiento y seguimiento de la Vitrina Tecnológica BIOTROP® en la Escuela Secundaria No. 2 de Cuernavaca**

Como parte de la colaboración Internacional IMTA-CRIQ, se dio seguimiento al desarrollo tecnológico BIOTROP®, tecnología realizada y patentada por ambas instituciones para el tratamiento de aguas residuales. Este sistema, que se construyó a escala real tipo Vitrina Tecnológica en la escuela Secundaria No. 2 de Cuernavaca, Mor., lleva seis años y medio de operación exitosa.

Los resultados del seguimiento indican que la remoción de demanda bioquímica de oxígeno es mayor al 95%, con concentraciones en el efluente entre 1 y 1.5 mg/L. En promedio, la remoción del nitrógeno total es de 55%, del fósforo total de 35.5% y de nitrógeno amoniacal del 99%. Los coliformes fecales en el agua tratada, después de la desinfección, fueron menores a 5 NMP/100 mL. Las características fisicoquímicas del efluente del sistema dan cumplimiento con la NOM-003-SEMARNAT-1997 y el agua tratada se utiliza para el riego de jardines de la escuela.

Por otra parte, se realizó el curso de transferencia tecnológica de este desarrollo a la empresa TSS Internacional, S. A. de C. V., a la cual se otorgó una licencia para la explotación comercial de la tecnología. Actualmente, se está construyendo el sistema BIOTROP® para dar tratamiento a las aguas residuales de un centro psiquiátrico ubicado en León, Guanajuato, donde el IMTA participa asesorando a TSS Internacional en su construcción.



Vitrina Tecnológica del sistema BIOTROP®, instalada en la Escuela Secundaria No. 2 de Cuernavaca, Morelos.

- **Evaluación a escala real de prototipos para remoción simultánea de materia orgánica y nitrógeno en aguas residuales**

Se realizó la evaluación a escala real de tres prototipos para remoción simultánea de materia orgánica y nitrógeno en aguas residuales. Los sistemas evaluados fueron: un reactor BIOSTAR-IMTA convencional (filtro sumergido con biopelícula en un medio móvil) con una sola zona aerobia, un reactor con una zona anóxica debajo de la zona aerobia y otro reactor donde la zona anóxica se ubicó en la zona periférica externa a la zona aerobia. En el caso de los dos reactores con zona anóxica, se evaluó el efecto de introducir una fracción del influente hacia la misma. En los tres reactores se evaluó el efecto del porcentaje de recirculación del efluente, así como de la velocidad de rotación del eje central.

Los resultados del estudio indicaron que la implementación de una zona anóxica permite aumentar la remoción del nitrógeno total. Los mejores resultados se obtuvieron en el reactor donde la zona anóxica fue ubicada en la zona periférica, lográndose remociones de nitrógeno amoniacal mayores a 93% y remociones de nitrógeno total arriba del 86%. Se obtuvieron efluentes con una demanda bioquímica de oxígeno menor de 5 mg/L.

De los tres parámetros de operación estudiados en este proyecto, la recirculación del efluente tuvo el mayor efecto sobre la remoción del nitrógeno. La evaluación de los reactores durante casi un año demostró la ventaja de los nuevos modelos y la posibilidad de su aplicación en sistemas para reúso urbano e industrial del agua regenerada (NOM-003-SEMARNAT-1997), recarga de acuíferos, descarga a cuerpos receptores con requerimientos estrictos con respecto al contenido de nitrógeno (ríos con criterio de protección de la vida acuática, embalses con uso público-urbano y estuarios), de acuerdo con la clasificación de la NOM-001-SEMARNAT-1996.



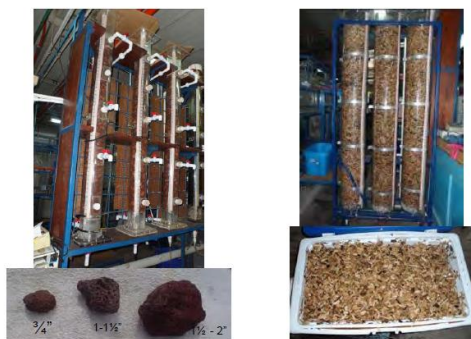
Sistemas BIOSTAR-IMTA instalados en la PTAR de El Texcal, para su evaluación.

- ***Filtración de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes para remoción de macronutrientes***

Este proyecto se realiza como parte de los trabajos de investigación básica y en colaboración con el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Universidad de Guanajuato, con auspicio del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

En este tenor, se concluyeron los trabajos experimentales en prototipos de laboratorio para la investigación de: a) el efecto de la granulometría, la carga orgánica y la velocidad de filtración en la remoción de macronutrientes de agua residual municipal; b) remoción por filtración (sobre materiales orgánicos y membranas) de colorantes azo y aditivos presentes en agua residual de la industria textil, y c) el efecto de la relación C/N y la aireación en la remoción de ambos macronutrientes en agua residual agroindustrial (efecto de la carga orgánica).

Los resultados con agua residual municipal indican que el tamaño de partícula entre 12 y 18 μm , permite mantener la calidad del efluente en los niveles que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997. En el caso del tratamiento de agua con colorantes, el uso de membranas combinadas con materiales orgánicos permite remover la toxicidad de subproductos generados por el pretratamiento con oxidación avanzada. Finalmente, una relación C/N ≥ 7 permite una mejor remoción de materia orgánica y tasas de aeración cercanas a 1 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ optimizan la remoción de nitrógeno.



- ***Estudio para la identificación de las causas, niveles y grado de contaminación ambiental en la laguna de Tuxpan, Guerrero, y propuestas para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en ella y sus afluentes***

Tuxpan se encuentra a una distancia de 5 km al este de la ciudad de Iguala de la Independencia, en Guerrero. Las actividades de la población (lavado de ropa

con detergente), desechos de basura y actividades agropecuarias, así como el consumo del agua de la laguna por los animales domésticos, contribuyen a la contaminación del cuerpo de agua.

El proyecto consistió en identificar las causas, niveles y grado de contaminación de la laguna de Tuxpan, con el fin de identificar alternativas de solución a la problemática de deterioro ambiental que sufre actualmente.

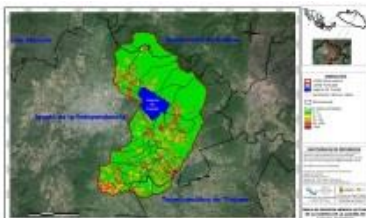
Los principales resultados obtenidos indican la acumulación de sedimentos provenientes del río Tomatal (principal afluente de la laguna), además de aportes de agroquímicos y aguas residuales domésticas hacia la misma.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA) para los parámetros fisicoquímicos y biológicos, señalan que la laguna se encuentra en estado mesotrófico y dentro de los límites máximos permisibles para el desarrollo de la vida acuática de flora y fauna.

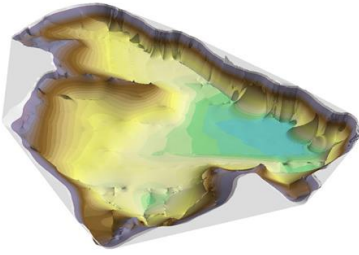
Con relación a las alternativas de solución a la problemática de deterioro ambiental de la laguna, se encuentran la reforestación, construcción de represas en el río Tomatal, y manejo de residuos y aguas residuales para el control de la contaminación, entre otros.



Descarga de aguas residuales al río Tomatal.



Perfil de erosión hídrica de la laguna de Tuxpan.



Perfil batimétrico de la laguna de Tuxpan.

- ***Diagnóstico de la calidad del agua en cenotes afectados de la Quinta Avenida y descargas de aguas residuales de las plantas de tratamiento de la ciudad de Playa del Carmen, Quintana Roo***

La ciudad de Playa del Carmen, Quintana Roo, experimenta un desarrollo económico y habitacional acelerado, principalmente en su infraestructura turística, contando actualmente con una población cercana a los 200,000 habitantes. Debido a las condiciones hidrogeológicas y al limitado tratamiento del agua en la zona, el agua residual es inyectada al subsuelo a través de pozos emisores situados en las plantas Saastun Ja y Gonzalo Guerrero, provocando problemas de contaminación en algunos de los cenotes de Playa del Carmen.

El IMTA realizó un estudio para identificar las fuentes contaminantes y caracterizar los patrones de flujo que siguen los efluentes de las plantas de tratamiento, con el fin de probar si existe interconexión hidrogeológica con los cenotes afectados.

Los resultados derivados del análisis hidrogeológico señalan que el flujo subterráneo tiene dirección preferencial de poniente a oriente, e indican que los contaminantes infiltrados al subsuelo afectan la calidad del acuífero en la zona subyacente a Playa del Carmen en la misma dirección. Asimismo, indican que hay contaminación directa por el agua cruda inyectada en el cárcamo de demasías de la planta de tratamiento de aguas residuales Saastun Ja.

Debido a la detección de fugas, por parte del personal del IMTA, y a la clausura de las mismas, por parte del personal de Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo, los cenotes junto a la Quinta Avenida de la ciudad de Playa del Carmen mostraron claras evidencias de mejoría en su calidad del agua, de acuerdo con los resultados de los monitoreos comprendidos de abril a noviembre del 2013.

En la zona de captación de agua para abastecimiento, los parámetros que se encontraron relativamente altos (con respecto a la NOM-127-SSA1-1994) fueron los coliformes fecales y totales, sobre todo en la estación de almacenamiento de la colonia Ejidal.



Cenotes antes y después de eliminar la fuente de contaminación de la Quinta Avenida en Playa del Carmen.

- **Herramientas biológicas para el análisis de toxicidad y detección de efectos asociados a contaminantes en sistemas acuáticos epicontinentales. Aplicación, adaptación y validación de tecnologías**

El objetivo de este proyecto fue aplicar y adaptar metodologías basadas en la respuesta biológica para la detección de efectos asociados a contaminantes emergentes en ambientes epicontinentales, con el fin de que sean de utilidad en estudios ecotoxicológicos de evaluación de riesgo ambiental, además de avanzar en el desarrollo de métodos de prueba aptos para el análisis de aguas salobres y/o costeras y de evaluación de toxicidad in situ.

El estradiol, el bisfenol A, la cafeína y la fluoxetina son compuestos emergentes que inciden en las aguas residuales y en los ambientes acuáticos en concentraciones $> 10 \mu\text{g/L}$, razón por la que se emplearon para los fines de este proyecto. Los diseños experimentales comprendieron protocolos y pruebas para evaluar los daños que estos contaminantes generan en el desarrollo del pez *Danio rerio*, en el proceso gestacional y formación de intersexos del cladócer *Daphnia magna*, en el crecimiento de la población de la microalga *Pseudokirchneriella subcapitata* y en el desarrollo del nematodo *Pangrellus redivivus*. Asimismo, se desarrolló un método para la detección de toxicidad en aguas salinas y salobres empleando el rotífero *Brachionus plicatilis*; además se diseñó y calibró una cámara para exposición de microalgas inmovilizadas, de uso directo en campo.

Como resultados relevantes se encontraron seis indicadores de efecto sobre el desarrollo embrionario de *D. rerio*, asociados a la forma de acción de

compuestos emergentes. Esta técnica fue calibrada y verificada en pruebas de laboratorio y campo en la presa de Colorines y en la planta de tratamiento Los Filtros, Guanajuato.

En relación con las microalgas, se observaron alteraciones en color, tamaño o estructura, además de efectos tanto de inhibición como de estimulación del crecimiento en su población. En el caso del estradiol y del bisfenol A, se observa sólo inhibición a partir de dosis de 2.5 y 2.2 $\mu\text{g/L}$; sin embargo, la cafeína y fluoxetina presentan efecto divergente de inhibición a altas concentraciones ($> 120 \text{ mg/L}$ y $> 0.7 \mu\text{g/L}$). A dosis reducidas (20 mg/L y 0.0625 $\mu\text{g/L}$), estimulan el crecimiento de la población hasta en un 50% por arriba del control.

Se logró la definición del ciclo gestacional de *Daphnia magna* conformado por cinco etapas. El efecto de los compuestos de prueba fue evaluado y los organismos expuestos no presentaron mortalidad; sin embargo, se observó suspensión del desarrollo ovárico, reducción de la reproducción y retraso de la madurez sexual.

En cuanto al protocolo de prueba para análisis de toxicidad en aguas marinas y salobres con el rotífero marino *Brachionus plicatilis*, se efectuó el análisis del ciclo reproductivo, se diseñó un sistema para la obtención de hembras en alumbramiento (rotifases) y se diseñó el protocolo inicial de prueba orientado a la medición del desarrollo poblacional, como indicador para la detección de efectos tóxicos.



- **Valoración de la potencia biológica de mezclas de estrógenos ambientales, utilizando las vitelogeninas como biomarcadores moleculares inducidas en el pez *Danio rerio***

El análisis genómico de la expresión genética permite evaluar la reacción de un organismo a un estresante ambiental. Métodos basados en PCR en tiempo real pueden apoyar en la caracterización de los efectos adversos de los contaminantes emergentes y ofrecer un nuevo enfoque para detectarlos.

Mediante el uso de *software* bioinformático (*E!ensembl* y *Biomart*), se obtuvo y procesó la información de los genes de la vitelogenina específica del pez cebra. Con la información ingresada en el programa *VECTOR NTI*, se obtuvieron las secuencias de los genes para el diseño de los primeros y sondas, las que se enviaron para su síntesis a un laboratorio en Estados Unidos de América.

Se evaluó durante 21 días el efecto sobre la reproducción de peces cebra, de tres hormonas (17α -etinilestradiol, estradiol, estrona), un herbicida (atrazina) y una mezcla (17α -etinilestradiol-atrazina) en concentraciones de 0.064 a 625 ng/L. En todos los casos, se incluyeron lotes de peces blanco y lote de peces expuestos al solvente en el que se disolvió cada compuesto.

A los peces expuestos se les evaluó la expresión genética de siete genes de la vitelogenina (*vtg1*, *vtg2*, *vtg3*, *vtg4*, *vtg5*, *vtg6* y *vtg7*). Con base en la estimación cuantitativa mediante PCR en tiempo real, se confirmó que el gen *vtg1* es la forma predominante en el pez cebra y es una herramienta valiosa como biomarcador molecular para la detección de contaminantes esteroides y contaminantes no esteroides, pero que están funcionando como tal en los organismos expuestos.



Gráfico de expresión relativa de los genes vtg al compuesto 17α -etinilestradiol.

- **Desarrollo de metodologías y su aplicación para la determinación de cianobacterias y compuestos emergentes en cuerpos de agua y agua potable**

Actividades como la higiene personal y el cuidado de la salud pueden provocar problemas en el ecosistema, dado que se incorporan a éste sustancias de diferente origen y naturaleza química. Estas sustancias se denominan “contaminantes emergentes” (CE). Dentro de este tipo de compuestos están los antibióticos, antidepresivos y hormonas, entre otros, así como sus metabolitos.

En México no existen laboratorios que cuantifiquen CE, por lo que el IMTA se ha dado a la tarea de desarrollar e implementar metodologías para su identificación y cuantificación. Actualmente, ya se cuenta con un método por cromatografía de gases/espectrometría de masas con extracción en fase sólida, para la identificación y cuantificación de un grupo de ocho fármacos (ácido clorfibríco, ibuprofeno, gemfibrozil, fenoprofeno, naproxeno, fenofibrato, diclofenaco e indometacina).

Adicionalmente, se evaluó por cromatografía de líquidos de alta resolución la microcistina LR en veinte sitios de la presa de Valle de Bravo, detectándose concentraciones $<1.6 \mu\text{g/L}$ en cuatro puntos de muestreo. Por otra parte, se implementó la metodología para la determinación de anatoxina-a, obteniéndose como límite de detección $0.007 \mu\text{g/L}$ y de cuantificación $1.1 \mu\text{g/L}$. La metodología se aplicó en muestras de agua de la presa de Valle de Bravo, no detectándose la presencia de esta cianotoxina.



Extracción en fase sólida.

- **Gestión del laboratorio de Calidad del Agua**

Con objeto de apoyar las acciones encaminadas a la evaluación de la calidad del agua y verificar el cumplimiento de la normatividad aplicable para agua

potable, agua residual, agua subterránea y superficial, el laboratorio de Calidad del Agua mantiene un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con la normatividad nacional NMX-EC-17025-IMNC-2006 e internacional ISO 17025: 2005, y sigue las políticas y criterios de evaluación establecidos por la entidad de acreditación Entidad Mexicana de Acreditación, A. C. (EMA). Esta entidad otorga el reconocimiento oficial conforme a la Ley Federal de Metrología y Normalización.

En mayo del presente año se recibió la visita de la EMA para la reevaluación del total de las pruebas acreditadas, ratificar el acreditamiento otorgado en 2009 y ampliar las pruebas del área de Cromatografía de Gases. En noviembre, se llevó a cabo la ampliación de tres signatarios para las pruebas de metales por absorción atómica y dos para pruebas fisicoquímicas.

En diciembre, se recibió oficio definitivo confirmando la ampliación de pruebas, signatarios y ratificación de la vigencia de la acreditación con número AG-177-032/09, con lo que se tienen actualmente 42 pruebas acreditadas y 22 signatarios.

- ***Análisis de la vulnerabilidad y evaluación los costos del cambio climático en organismos operadores de agua potable y saneamiento***

Si bien el impacto del cambio climático puede analizarse mediante escenarios climáticos generados a través de modelos de simulación, es necesario evaluar sus efectos así como la sensibilidad de los elementos expuestos a nivel local, a fin de contar con herramientas que permitan plantear medidas de adaptación. Debido a que el cambio climático con seguridad desafiará las prácticas existentes de administración del agua, especialmente en situaciones en las que se cuente con menor experiencia sobre la incorporación de acciones que fortalezcan a los sistemas de agua.

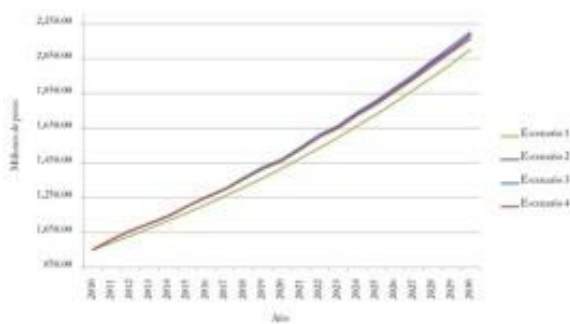
Por ello, que este proyecto presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un organismo operador de agua potable, alcantarillado y saneamiento (OOAPAS). La metodología que se propone se divide en dos partes: 1) análisis de vulnerabilidad, que permite evaluar la sensibilidad de los organismos operadores ante los impactos potenciales del cambio climático y su capacidad de adaptación basada en el incremento de la eficiencia física y comercial, y 2) cálculo de costos, que utiliza la información obtenida en el análisis de vulnerabilidad para determinar las posibles opciones para adaptarse a los

impactos que se consideran significativos y el costo que implica aumentar la capacidad de respuesta de un organismo operador.

La implementación de la metodología propuesta para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un OOAPAS se presenta en este trabajo para los sistemas de agua de las ciudades de Mexicali y Monterrey. Considerando que en estas ciudades se esperan incrementos de temperatura significativos en los próximos veinte años, lo que podría incrementar la vulnerabilidad de estos organismos.

Asimismo, de esta investigación se generó un libro en formato digital, el cual se estructura en siete secciones. Las primeras dos secciones describen de manera general los efectos del cambio climático tanto en los recursos hídricos del país como en los organismos operadores de agua, de acuerdo con los escenarios presentados en el *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* por el IMTA, para determinar con mayor certidumbre los impactos del cambio climático en el sector hídrico en México.

La tercera sección describe los principales factores que deben considerarse al evaluar la vulnerabilidad de un organismo operador, algunas medidas que permitirían afrontar los cambios impuestos por el cambio y la variabilidad climática, así como la discusión de distintos acercamientos al cálculo de costos de adaptación. La cuarta sección describe detalladamente la metodología para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un OOAPAS. Las secciones cinco y seis presentan la implementación de la metodología en los sistemas de agua de las ciudades de Mexicali y Monterrey para, finalmente, presentar los comentarios finales de este trabajo.



Costos de adaptación para distintos escenarios de adaptación al cambio climático.

- **Verificación de la sostenibilidad de los servicios proporcionados dentro del marco del Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales, durante el periodo 2008-2011**

En México el sector rural representa, según el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, el 23% de la población nacional, y reside en localidades menores a 2,500 habitantes dispersas en todo el país. De las obras y servicios públicos que demandan las poblaciones rurales, los caminos y el agua potable son los más relevantes por lo que representan, directa o indirectamente, para la salud, sobrevivencia y calidad de vida de sus habitantes. Por ello, en estas zonas rurales la falta de servicios de agua potable y saneamiento se traduce en condiciones de vida insalubres y en lugar propicio para el surgimiento y proliferación de enfermedades.

Con la finalidad de aumentar el acceso y calidad de los servicios de agua potable y saneamiento para la población de zonas rurales y apoyar el incremento de la cobertura, la Conagua lleva a cabo el Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales (Prossapys).

Para cumplir con su objetivo, el Prossapys parte de un marco normativo establecido en las Reglas de Operación, donde se diseñaron tres componentes estrechamente vinculados que tienen como meta inmediata incrementar la cobertura de los servicios de agua potable y de saneamiento para la población rural, mediante la construcción, ampliación y rehabilitación de la infraestructura. Con estas acciones se pretende, como fin último, lograr la sostenibilidad de las obras.

Lograr dicha sostenibilidad atraviesa por una serie de factores que la limitan y pueden poner en riesgo la operación y permanencia de la misma obra, así como el funcionamiento de los comités responsables de ellas. Entre los factores que propician que las obras no funcionen se pueden identificar los sociales, organizativos, administrativos, institucionales y técnicos.

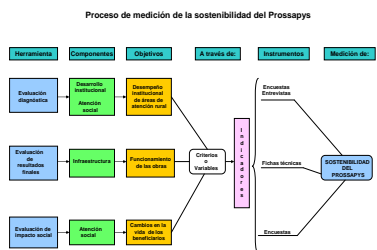
Hasta ahora, pese al esfuerzo institucional de abastecer de agua potable y de saneamiento básico a las comunidades rurales, no existe un análisis de cómo inciden los factores antes mencionados en el funcionamiento y operación de las obras, de la efectividad y permanencia de los comités para su operación y mantenimiento, ni de las limitaciones institucionales que provocan la ocurrencia de esas situaciones. Lo anterior trae como consecuencia que no se

diseñen ni implementen soluciones institucionales que permitan revertir la situación antes descrita y que, en muchos casos, tanto las obras como los comités operen y funcionen con poca efectividad, poniendo así en riesgo la obra y, por ende, la sostenibilidad de las mismas.

Por lo anterior, se realizó un estudio que considera la interrelación de los factores arriba señalados con los sistemas construidos, los comités formados y con la acción institucional de los organismos participantes, a fin de mejorar las condiciones de funcionamiento, tanto de las obras como de los comités, pero también el diseñar estrategias para mejorar la atención de las comunidades rurales por parte de los prestadores de servicios.

El objetivo general del estudio fue medir la sostenibilidad de los tres componentes del Prossapys (infraestructura, atención social y desarrollo institucional) durante el periodo 2008-2011, y evaluar el impacto social del programa a partir de una serie de indicadores.





- **Asistencia técnica para la introducción de tecnologías apropiadas de saneamiento en la operación del Programa Hábitat-Sedesol de la Secretaría de Desarrollo Social**

El proyecto es fruto del convenio de colaboración que desde 2011 estableció el IMTA con el Programa de Naciones Unidas ONU-HÁBITAT. El objetivo de esta alianza es apoyar la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento en comunidades urbanas y periurbanas marginadas. En una primera instancia, se planteó desarrollar dos proyectos piloto sobre tecnologías alternativas en dos polígonos Hábitat (zonas urbanas marginadas definidas por la Sedesol para su atención): una colonia periurbana (Aeropuerto, en Temixco, Morelos) y un Centro de Desarrollo Comunitario (CDC) (Alpuyeca, Xochitepec, Morelos).

Durante 2012 se realizaron los trabajos necesarios para la instalación de las alternativas tecnológicas; sin embargo, se presentaron problemas político-administrativos en el municipio de Temixco que cancelaron las actividades en este lugar. En el caso del CDC de Alpuyeca, el proyecto se consolidó y se construyeron las tecnologías propuestas: un sistema de captación de agua de lluvia (incluye cisterna capuchina y dispositivo de rayos ultravioleta para potabilización), un humedal artificial para el tratamiento del agua residual generada en el CDC y un sistema de riego para el reúso del agua tratada en las áreas verdes de este centro.

Durante 2013, se trabajó en la conformación, capacitación y fortalecimiento de un comité de operación y seguimiento, donde participan pobladores de Alpuyeca, usuarios y trabajadores del CDC y representantes del municipio de Xochitepec. Con el trabajo de este grupo, se garantizará el buen funcionamiento y la sustentabilidad de las tecnologías instaladas. Por otro lado, se continúa trabajando en el monitoreo y supervisión del funcionamiento de las tecnologías instaladas.



4. Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector

México con Educación de Calidad

El agua, elemento esencial de la cultura mexicana

- ***Licenciamientos de tecnologías IMTA con Protección Intelectual y Derechos de Autor***

Se realizaron tres licenciamientos de una tecnología del IMTA: BIOTROP, tecnología para el tratamiento de agua residual municipal por medio de biofiltros con materiales de empaque orgánico (residuos maderables de jacaranda y tabachín). Contribuye a aumentar la cobertura de tratamiento de aguas residuales, especialmente en zonas sin drenaje, o donde resulta oneroso instalarlo o en poblaciones dispersas. El desarrollo de la tecnología materia de este licenciamiento ayuda al rescate y saneamiento de cuerpos receptores por medio del tratamiento de aguas residuales municipales. El licenciamiento se otorgó a la empresa TSS Internacional, con sede en Monterrey, Nuevo León.

ICAM-Riego, sistema para mejorar y facilitar la planeación y control de todos los procesos relacionados con la entrega de agua y su uso en las parcelas; genera alternativas económicas y viables para la administración, gestión y operación moderna de los sistemas de riego para potenciar y hacer llegar los beneficios de la tecnificación a los usuarios de riego, constituidos en asociaciones principalmente. Se licenció a la empresa Software Ingeniería Civil Asesores, S. A. de C. V, con sede en el estado de Morelos.

Sistema Electrónico Portátil para Simplificar la Medición de Flujo de Agua en Canal Abierto, tecnología desarrollada en conjunto con el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. En un sistema de medición que se conecta a un molinete y capta la información de pulsos en un cierto tiempo para calcular la velocidad, considerando su ecuación de caracterización. Es un aditamento auxiliar que simplifica la medición del flujo de agua en canal abierto y puede realizar las mediciones de velocidad del flujo en forma dinámica, con una medición más exacta que los métodos convencionales. Se transfirió por medio de un convenio para desarrollo, prueba y escalamiento a nivel industrial de tecnología, así como el otorgamiento del derecho de primera opción de licencia a la Empresa Eclipse, S. A. de C. V. con sede en el Estado de México.

- **Posgrado IMTA**

Uno de los grandes desafíos que enfrenta nuestro país es la crisis del agua, ya que la tendencia actual de aprovechamiento del recurso hídrico no es sostenible. Ante este reto, dentro de las estrategias que establece el gobierno federal se destaca el impulso a la ciencia y la tecnología, así como el fortalecimiento de las capacidades institucionales del sector agua, siendo imprescindible el desarrollo de la capacidad técnica y profesional de las personas y organizaciones participantes en el sector.

En 2013 se graduaron siete estudiantes de maestría en Ciencias del Agua, de los cuales cinco corresponden al área Gestión Integral del Agua de Cuencas y Acuíferos, y dos al área de Hidrometeorología y Meteorología Operativa; uno de ellos obtuvo mención honorífica. Además, un estudiante se graduó de Doctor en Ciencias y Tecnología del Agua.



Examen de grado.



Examen de grado.

- **Posgrado IMTA-UNAM**

El propósito del Posgrado UNAM-IMTA es formar profesionales altamente calificados, con la capacidad necesaria para resolver problemas del ámbito

teórico-práctico dentro del estado del arte en las áreas de Ingeniería Hidráulica e Ingeniería Ambiental. El posgrado UNAM-IMTA fue establecido en 1987, iniciando sus actividades con los estudios de posgrado en Ingeniería Hidráulica, y posteriormente en 1993, abre el posgrado en Ingeniería Ambiental.

En el 2013, 11 alumnos obtuvieron el grado de Maestro, de los cuales seis corresponden al área de Ingeniería Hidráulica y seis a Ingeniería Ambiental.



Conclusión de examen de grado.



Sesión de preguntas y respuestas.

- **Talleres de actualización y certificación para el personal de los espacios de Cultura del Agua de diversos estados y Multimedia de una cuenca hidrológica del estado Durango**

En 2013 se desarrollaron seis proyectos de capacitación para el personal municipal y estatal de cultura del agua de los estados Tabasco, Morelos, Guerrero, Durango e Hidalgo así como para la Universidad de Guanajuato. La mayoría de los temas tratados están considerados en el Programa Federalizado de Cultura del Agua (PFCA), cuyos programas didácticos

desarrolló el IMTA en 2009 como parte de un convenio de colaboración con la Conagua.

| | |
|--|---|
| Elaboración de material didáctico, con 62 participantes en dos eventos | Consumo sustentable del agua, con 79 participantes en tres eventos |
| Cambio climático y su impacto en el ciclo hidrológico, con 48 participantes en dos eventos | Agua en el marco de la educación para el desarrollo sustentable, con 55 participantes en dos eventos |
| Formación de instructores, con 53 participantes en dos eventos | Fotografía Digital, con 80 participantes en dos eventos |
| Huella Hídrica y consumo sustentable, con 86 participantes en tres eventos | Aprovechamiento responsable y tratamiento del agua* con 38 participantes |
| Cultura del agua para niños*, con 32 participantes | Conocimientos básicos sobre educación ambiental en el estado de Durango * con 37 participantes |
| Ecología y Biodiversidad en Tabasco, con 22 participantes | Prevención de Conflictos y Cooperación en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en México*, con 127 participantes |
| Agua y Educación, con 149 participantes | |

*No incluidos en el PFCA, Conagua, 2010.

Se gestionó y apoyó la capacitación y evaluación para la certificación del personal en el Estándar de Competencia EC0180 *Promoción de cultura del agua*, para la Comisión del Agua del Estado de Durango (CAED) con 27 participantes y de la Comisión Estatal de Agua y Alcantarillado de Hidalgo con 22 participantes.

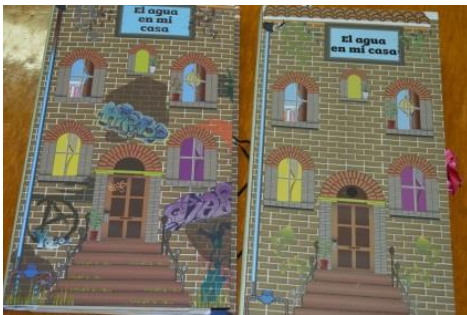
En cuanto a materiales didácticos se produjo el multimedia *Cuenca del río Nazas* para la CAED, se concluyó la edición gráfica del libro *Experimentos con agua* y se diseñaron los libros en formato *pop up* sobre la infraestructura y los usos domésticos del agua (boceto).



Imagen general del multimedia *Cuenca del río Nazas*.

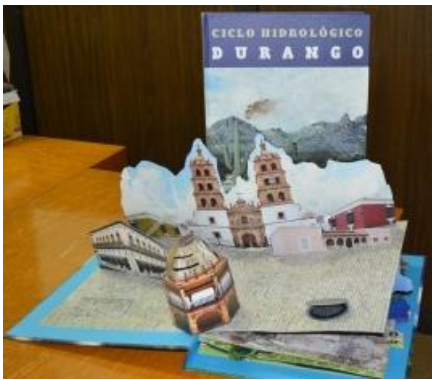


Portada del libro *Experimentos con agua*.

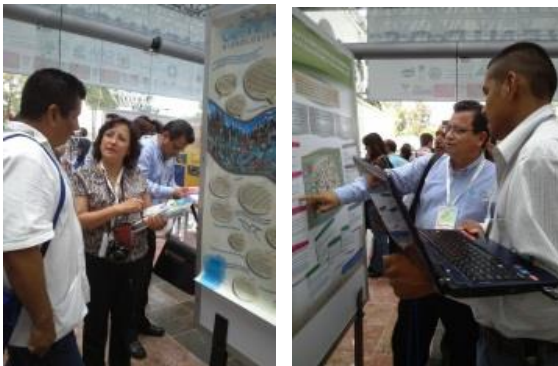


Portadas del juego de libros *El agua en mi casa: Uso no eficiente y Uso eficiente*.

Asimismo, se publicó el libro formato *pop up*, *Ciclo hidrológico Durango*.



Libro *Ciclo hidrológico Durango*.



Participación en exposiciones y conferencias.

- ***Programa Anual de Capacitación Presencial 2013***

De manera anual, el Instituto oferta el Programa de Capacitación Presencial para el Sector Hídrico. El programa de capacitación ofrece una gran variedad de cursos en general que se enfocan en atender los problemas prioritarios del sector. Es, en este sentido, que los instructores del Instituto regularmente trabajan en proyectos orientados a la solución de los problemas del sector, por lo que aportan su experiencia en temas específicos y colaboran aportando metodologías y experiencia práctica para hacer eficiente el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En el 2013 se impartieron 12 de los 14 cursos programados, lo cual equivale al 85.7%. El número total de capacitados fue 146, mientras que las horas impartidas fueron de 368, dando un total de 4,544 horas-capacitando. A continuación, se presentan los cursos impartidos.

| Curso | Duración (h) | Número de participantes | Horas capacitando |
|--|---------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <i>Operación de plantas de tratamiento de lodos activados</i> | 40 | 18 | 720 |
| <i>Modelación del escurrimiento en cuencas con HEC-HMS</i> | 40 | 20 | 800 |
| <i>Diagnóstico de pozos de agua</i> | 24 | 6 | 144 |
| <i>Diseño y simulación de alcantarillado pluvial y sanitario con el uso del SWMM</i> | 16 | 12 | 192 |
| <i>Simulación de redes de distribución de agua potable con EPANET</i> | 16 | 14 | 224 |
| <i>Modelación unidimensional de ríos con HEC-RAS</i> | 24 | 18 | 432 |
| <i>Análisis físicoquímicos en muestras de agua para las Normas NOM- 001-SEMARNAT-1996 y NOM- 002-SEMARNAT-1996</i> | 40 | 6 | 240 |
| <i>Tratamiento de aguas residuales mediante humedales</i> | 24 | 7 | 168 |
| <i>Evaluación de plantas de tratatamiento de aguas residuales</i> | 40 | 11 | 440 |
| <i>Hidrometría ultrasónica. Aforadores Doppler y tiempo de travesía</i> | 40 | 5 | 200 |
| <i>Operación de plantas de tratamiento de lodos activados</i> | 40 | 18 | 720 |
| <i>Determinación del caudal ecológico con la metodología de índice de alteración hidrológica (IHA-RVA)</i> | 24 | 11 | 264 |
| Total | 368 | 146 | 4,544 |



Práctica del curso *Operación de plantas de tratamiento de lodos activados.*



Curso *Modelación del escurrimiento en cuencas con HEC-HMS.*



Curso Diagnóstico de pozos.

- **Diseño e impartición de cursos técnicos hídricos para la formación de los servidores públicos de la Conagua**

El Diagnóstico de Necesidades de Capacitación es la parte de la planeación institucional para desarrollar a personal de la Conagua. A partir de dicho diagnóstico, la Conagua define su Programa Anual de Capacitación (PAC).

Para atender parte del PAC 2013, el IMTA impartió diez cursos de capacitación en diferentes ciudades del país, capacitando a un total de 240 especialistas (de un mínimo proyectado de 150) en diferentes áreas del conocimiento de la Conagua, logrando así un total de 6,648 horas-capacitando. A continuación, se presenta un resumen de los cursos impartidos.

| Curso | Duración (h) | Número de participantes | Horas capacitando |
|--|--------------|-------------------------|-------------------|
| <i>Diseño de plantas potabilizadoras</i> | 24 | 15 | 360 |
| <i>Atención a usuarios en la solicitud de servicios en entidades administradoras de agua</i> | 24 | 44 | 1,056 |
| <i>Manejo de sistemas de información geográfica utilizando ARC GIS versión 9.3 (básico)</i> | 40 | 28 | 1,120 |
| <i>Hidrometría ultrasónica. Aforadores Doppler y tiempo de travesía</i> | 32 | 9 | 288 |
| <i>Muestreo de descargas de agua residual y validación de parámetros de campo</i> | 24 | 20 | 480 |
| <i>Modelación de escurrimientos en cuencas usando HEC-HMS</i> | 24 | 23 | 552 |
| <i>Curso de topografía</i> | 24 | 18 | 432 |
| <i>Manejo de sistemas de información geográfica utilizando ARC GIS versión 9.3 (básico)</i> | 40 | 23 | 920 |
| <i>Atención a usuarios en la solicitud de servicios</i> | 24 | 36 | 864 |

| | | | |
|--|------------|------------|--------------|
| en entidades administradoras de agua | | | |
| Modelación unidimensional de flujo permanente usando HEC-RAS | 24 | 24 | 576 |
| Total | 280 | 240 | 6,648 |



Curso Diseño de plantas potabilizadoras.



Curso Atención a usuarios en la solicitud de servicios en entidades administradoras de agua.



Curso Muestreo de descargas de agua residual y validación de parámetros de campo.



Curso Hidrometría ultrasónica. Aforadores Doppler y tiempo de travesía.

- **Capacitación, evaluación y certificación de personal del IMTA**

Como parte del fortalecimiento de las capacidades de su personal, el IMTA inició su Programa Interno de Capacitación, Evaluación y Certificación para los especialistas del Instituto.

Durante 2013, se celebraron los cursos: *Impartición de cursos de formación del capital humano de manera presencial grupal* y *Diseño de cursos de capacitación presenciales, sus instrumentos de evaluación y material didáctico*, con fines de certificación de la Competencia Laboral con base en los estándares de competencia EC0217 y EC0049, en los que participaron treinta capacitandos.

A la fecha, se han evaluado cuatro especialistas del IMTA, a los cuales se les tramitó ante el Consejo de Normalización y Certificación de Competencia Laboral el correspondiente certificado de Competencia Laboral.

Asimismo, se evaluaron, certificaron y acreditaron como evaluadores de la Entidad de Certificación y Evaluación del IMTA cinco especialistas en los estándares EC0348 *Riego presurizado en parcelas* y EC0349 *Riego superficial en parcelas*. Con la acreditación de estos evaluadores, se cuenta ya con 37 evaluadores en la ECE IMTA, en veinte diferentes estándares de Competencia Laboral.



Participantes conocen elementos para la preparación de un curso de capacitación presencial.



Interacción del instructor con los participantes.



Técnica de discusión participante-instructor.

- ***Revisión, diagnóstico, actualización técnica y modernización de la primera etapa del Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, normas técnicas complementarias y documentación y elaboración de libros adicionales***

El *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento* (MAPAS) tiene como objetivo principal apoyar el desarrollo de los organismos operadores de agua

potable, alcantarillado y saneamiento, así como promover la investigación científica, desarrollo tecnológico, formación y capacitación de los recursos humanos. Actualmente, el MAPAS está integrado por cincuenta libros y 12 normas técnicas, y se cuenta con la versión digitalizada en un disco compacto. La última revisión de MAPAS se realizó durante 2007, bajo un convenio entre la Conagua y el IMTA, con alcances que se limitaron a aspectos de homogeneización entre los libros existentes y presentación de los mismos, más no en aspectos técnicos. Cabe señalar que el manual no se ha revisado de esta manera desde hace muchos años, siendo 2005 el último en que se elaboró un libro totalmente nuevo.

En este proyecto se elaboró un diagnóstico de la situación actual de MAPAS, en relación con las nuevas necesidades de la Conagua y de otras instituciones involucradas. Se revisaron y actualizaron 11 libros, se sustituyeron 12, se incorporaron tres nuevos y se eliminaron dos, lo cual dio un total de 26 libros.

En general, el proceso de actualización se hizo cumpliendo los siguientes puntos:

- Revisar validez de la información.
- Actualizar reglamentos y normas citadas.
- Incluir ejemplos de aplicación.
- Homogeneizar tipo y tamaño de letra y folios.
- Incluir tabla de contenido en todos los libros.
- Incorporar figuras y tablas dentro del texto.
- Eliminar páginas en blanco.
- Uniformar unidades de medida.
- Incluir hipervínculos entre los distintos libros, de ser necesario.

También, se corrigieron problemas técnicos identificados: complementar el texto de los archivos digitales de los libros con tablas y figuras que no se encontraban integradas al mismo, la reconfiguración de las ecuaciones que no se encontraban adecuadamente editadas, y mejorar y reeditar las figuras y tablas no legibles en los archivos digitales.

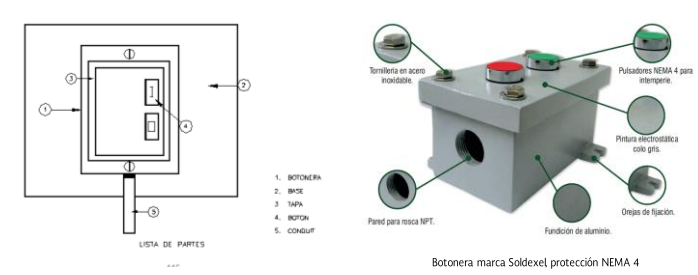
Con ello, se brinda a los organismos operadores, proyectistas y estudiantes una herramienta de apoyo para el diseño, mantenimiento y operación de redes de distribución de agua potable, alcantarillado y saneamiento.



Reunión institucional para revisar el Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (julio de 2013).



MAPAS 2007 y 2013: ejemplo de la mejora en el contenido de los libros.



MAPAS 2007 y 2013: ejemplo de la mejora de imágenes durante la actualización.

• Cátedra UNESCO-IMTA: El agua en la sociedad del conocimiento

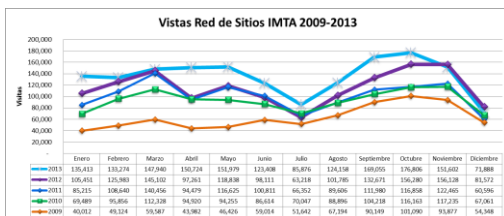
El Portal ATL (www.atl.org.mx) es el órgano de comunicación de la Cátedra UNESCO-IMTA y comenzó a funcionar a partir de 2008, fecha en la que se instala de manera oficial la Cátedra. Se busca que el sitio, además de contener los datos sobre la Cátedra, también sirva de repositorio de información con los temas del agua y la sociedad del conocimiento. Es así como se originaron varias secciones: “Videos”, “Biblioteca Digital”, “Educación” y “Noticias”, entre otros.

De enero a mayo se recibió un total de 706,121 visitas que constituye el portal más visitado de la Red de Sitios IMTA. Se le dio mantenimiento y se publicaron notas en el portal del Comité Nacional Mexicano del Programa Hidrológico Nacional, que obtuvo 19,260 visitas.

El 22 de noviembre se celebró el Seminario Anual de la Cátedra UNESCO-IMTA 2013 con el tema “Profesionalización del Sector Hídrico”, que tuvo lugar en el Colegio de México, al cual asistieron más de 115 expertos. Este evento fue transmitido por Internet y las presentaciones del mismo se tienen publicadas en el sitio del Atl. www.atl.org.mx

En el marco de la Cátedra se efectuó el Concurso de Fotografía IMTA 2013. En esta ocasión se mantuvieron tres categorías: *Aficionado*, *Máster* y *Móviles*, y cada una de estas categorías contó con los temas: “Agua en la naturaleza”, “Instalaciones del IMTA” y “Comisiones”. En total se recibieron 75 fotografías y participaron 28 personas.

De igual forma, se publicaron las memorias del Seminario Gobernanza del Agua: del Concepto a la Implementación en el portal ATL, con lo que se pone a disposición del público las ponencias completas para estudio del tema.





- **Revista Tecnología y Ciencias del Agua**

Tecnología y Ciencias del Agua es una publicación internacional, indizada, bimestral, arbitrada, con revisión “a ciegas” por pares, impresa y digital, cuyo objetivo es difundir el conocimiento y avances científicos y tecnológicos en materia de agua, a través de la publicación de artículos y notas técnicas inéditas que brinden aportaciones originales y coadyuven a la resolución de problemas sobre la materia en Hispanoamérica. Durante 2013 se tuvieron los siguientes resultados:

- Se publicaron 64 trabajos de 227 autores de 62 instituciones de 12 países (Alemania, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, España, México, Portugal, Uruguay y Venezuela).
- Se editaron cinco números impresos (ISSN 0187-8336) y cinco números digitales (ISSN 2007-2422).
- A partir del vol. IV, núm. 3, julio-agosto, cambió su periodicidad de trimestral a bimestral.
- El número de visitas a su página web (<http://www.imta.gob.mx/tyca/>) del 1° de enero al 31 de diciembre de 2013 fue de 77,394, esto es, 13,594 más que en 2012 (63,800) desde 11 países (58% de México y 42% del extranjero). Los diez países desde donde visitan más la página son México, Colombia, Perú, España, Argentina, Ecuador, Venezuela, Chile, Estados Unidos y Bolivia
- El número de artículos que ingresaron para posible publicación fue de 82.
- En la revisión de los artículos publicados participaron 91 árbitros de 35 instituciones de 12 países (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Estados Unidos, España, Francia, México, Reino Unido, Uruguay y Venezuela).
- Se remitieron por correo electrónico 1,620 artículos solicitados en texto completo (PDF) a lectores de 21 países: México, Chile, Colombia, España, Perú, Venezuela, Bolivia, Argentina, Ecuador, Estados Unidos, Paraguay, Panamá, Francia, Australia, Italia, Japón, Uruguay, República Dominicana, Honduras, Costa Rica y Guatemala.
- Continúa su registro en diversos índices y resúmenes (*abstracts*) nacionales e internacionales, como Thomson Reuters Science Citation

Index (ISI) y Expanded Thomson Reuters Research Alert (ISI), ProQuest, EBSCO, el Índice de revistas mexicanas de ciencia y tecnología de Conacyt (2013-2018), NISC, Periódica, Actualidad Iberoamericana, Elsevier, Hela y Latindex.

- También se hicieron las gestiones e integración de material para ingresar a la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) y a Google academic.
- Se hicieron los trámites correspondientes a la Reserva de Derechos al Uso Exclusivo e ISSN para la versión en inglés, que llevará por título *Water Technology and Sciences*; se tradujeron cuatro números a partir del vol. IV, núm. 3, julio-agosto.
- La revista impresa se distribuye en México y a suscriptores de Alemania, Argentina, Chile, Corea, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Estados Unidos, Guatemala, Perú y Reino Unido. Se cuenta con una suscripción institucional con Conagua de 1 500 ejemplares por número.
- Se hace la actualización constante de sus directorios de autores, revisores, lectores, universidades nacionales y del extranjero, centros de investigación nacionales y del extranjero, organismos internacionales, fundaciones, asociaciones, sociedades del país y del extranjero.



• **Revista digital Agua Simple**

Agua Simple es una publicación dirigida a jóvenes de secundaria y preparatoria, que pueda servirles de apoyo para ampliar sus conocimientos sobre el agua y el medio ambiente, así como para introducirlos de una manera entretenida en el mundo de la ciencia y la tecnología. Asimismo, su público objetivo indirecto son maestros y padres de familia. Se coedita con el Consejo Consultivo del Agua y durante 2013 tuvo los siguientes resultados:

- Edición de dos números temáticos: “Agua y salud” y “Agua e industria”, en donde se contó con el apoyo de las siguientes instancias:
 - Instituto Nacional de Salud Pública.
 - Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España.
 - Servicios de Salud Morelos.

- Hospital Parres de Cuernavaca.
 - Centro Universitario Anglo Mexicano.
 - Consejo Nacional de Industriales Ecologistas, A. C.
 - Jardines de México.
 - ACLARA.
 - Colegio Juan Fray de Zumárraga.
 - Cemex.
 - Baxter.
 - Colaboradores de la ciudad de México, Mérida y Austria.
- Presencia en redes sociales: *Facebook* (trescientos seguidores), *Twitter* y *YouTube*.
 - Funcionalidad para descargarse en teléfonos celulares y *tablets*.
 - 43,015 visitas a su página web desde 64 países (48% de México y 52% del extranjero).

- **Mantenimiento del Repositorio Institucional del IMTA**

Con el propósito de compartir el conocimiento generado por los especialistas del IMTA y difundir de una manera más abierta el resultado de las investigaciones que se llevan a cabo en el Instituto, se conformó el Repositorio Institucional del IMTA.

El repositorio es una herramienta que incluye la producción científica del Instituto, almacenada en un archivo electrónico en formato digital, en el que se permite la búsqueda y la recuperación para su uso posterior. Además de crear y compartir conocimiento y facilitar el aprendizaje organizacional, permite maximizar la visibilidad del Instituto.

Actualmente, el Repositorio Institucional IMTA cuenta con 303 documentos entre artículos publicados en las revistas *Ingeniería Hidráulica en México* y *Tecnología y Ciencias del Agua*, además de libros editados por el Instituto y tesis de maestría y doctorado del Posgrado IMTA.





- **Cambio de imagen del sitio del Centro de Conocimiento del Agua**

Con el fin de facilitar el acceso a los recursos documentales con los que cuenta el Centro de Conocimiento del Agua (Cenca), en septiembre de 2013 se liberó el nuevo sitio.

El sitio ofrece, de una manera organizada, información sobre los servicios que presta y facilita el acceso a sus recursos electrónicos. De igual manera, se incluyen ayudas para orientar a los usuarios en el acceso a estos servicios.



- **Producción editorial**

En 2013 se editaron 13 libros, diez en edición propia y tres en coedición.

Con la finalidad difundir los productos editoriales del IMTA, se continuó con los puntos de venta en librerías del Instituto Politécnico Nacional y de la Universidad Autónoma Metropolitana, así como de EDUCAL/Conaculta y diversos establecimientos de la cadena Librerías Gandhi. Por otra parte, se prosiguió también con la difusión de estos productos en ferias internacionales del libro, eventos relevantes del sector hídrico y mediante la página web del Instituto.



- **Producción radiofónica**

El programa Planeta Agua, que entró en su noveno año de transmisiones, es un espacio radiofónico del IMTA en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de Morelos que ha permitido la difusión del conocimiento del agua a través de especialistas invitados. Para ampliar la difusión de sus contenidos, las emisiones también se transmiten vía Internet a través de los portales del Instituto y Atl, El Portal del Agua desde México, de la Cátedra UNESCO-IMTA *El Agua en la Sociedad del Conocimiento*.

- **Boletines electrónicos**

Se publicaron 12 números de la *Gaceta del IMTA*, medio de difusión electrónica para dar a conocer avances y resultados de los proyectos más importantes desarrollados en el Instituto. La *Gaceta* también puede consultarse en la página web institucional: www.imta.gob.mx. Adicionalmente, de enero a diciembre, se enviaron mensualmente ejemplares de: *Boletín de Novedades Atl*, *Boletín Conamexphi*, *Boletín IMTA-net*, así como diversos boletines especiales, dirigidos a los empleados del Instituto y a diferentes grupos de interés.



• **Producción audiovisual**

El material audiovisual producido en el IMTA constituye un valor agregado a los productos y servicios prestados, como parte de las estrategias aplicadas a la solución de la problemática existente en el sector hídrico. En este sentido se produjeron los siguientes videos:

- *Agricultura urbana.*
- *Centro de capacitación del IMTA.*
- *Control biológico de especies invasoras. Arundo donax (nueva versión actualizada).*
- *IMTA: soluciones integrales para un desafío global; la sustentabilidad del agua (nueva versión español-inglés).*
- *IMTA: nuevos retos, nuevas perspectivas.*
- *Sistema de riego intermitente por gravedad por sifones (versión actualizada).*
- *Tecnología de un sistema de riego intermitente en el módulo de riego Culiacancito.*
- *Diseño hidrológico del terreno con el método de Línea Clave (Keyline).*
- *Evaluación de impactos ambientales de tecnologías conservacionistas utilizando cuencas pareadas.*
- *Centro de Desarrollo Comunitario Alpuyeca: hacia la adopción social e institucional de tecnologías apropiadas para la gestión y el manejo sustentable del agua.*
- *Seguimiento al impacto del cambio climático en el ensalitramiento de los suelos en un módulo de riego.*

También, se realizó material de video para la gestión del conocimiento del Instituto, foros de Consulta del Agua, cápsulas y spots promocionales, Seminario Cátedra UNESCO-IMTA, revista digital *Agua Simple* y eventos celebrados en el instituto.

Por otra parte, se hicieron actividades de administración de la videoteca, que consistió en el mantenimiento continuo de la base de datos del acervo, así como del multicopiado de videos solicitados al área, siendo un total de 675 copias elaboradas a partir de distintos títulos propios.

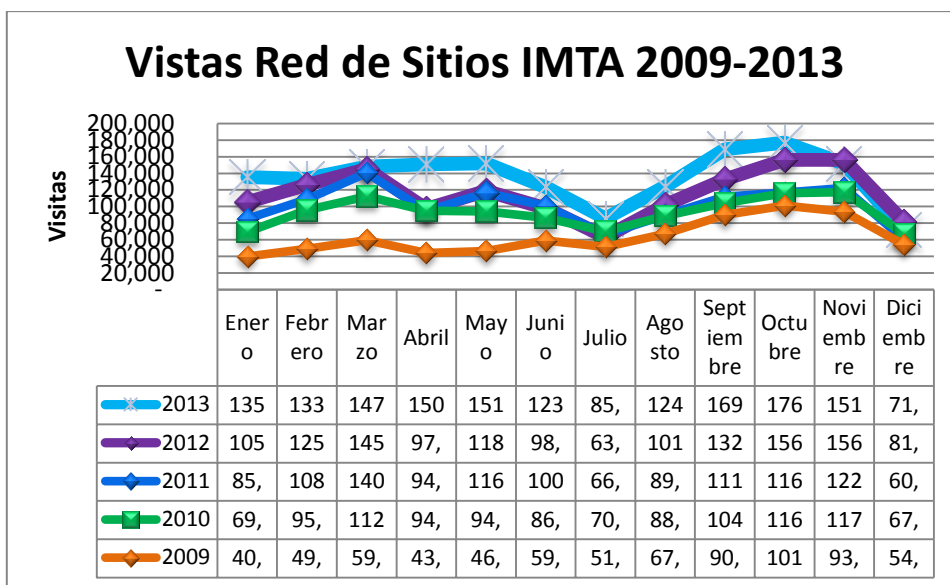




• **Sistemas informáticos y sitios web**

Se llevaron a cabo las actividades de diseño, desarrollo, mantenimiento, operación y actualización de la Red de Sitios IMTA. Asimismo, de los veinte sitios con que cuenta la Red, se realizó el mantenimiento y actualización de 16 sitios institucionales y temáticos. La Red de Sitios IMTA, en su conjunto, registró un total de 1,622,123 visitas durante 2013. Destacan, entre ellas, las 706,121 correspondientes a los portales IMTA y ATL.

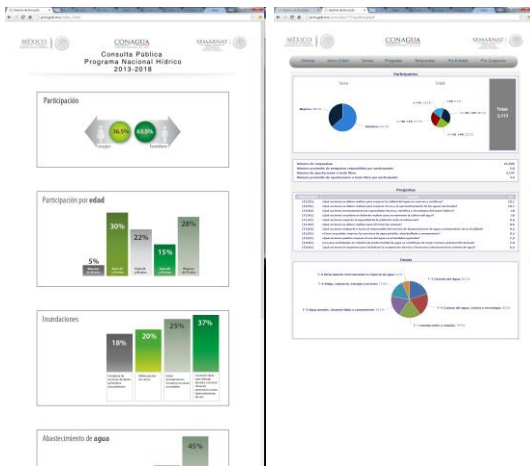




- **Sistema para la Consulta Pública Nacional en Línea del Programa Nacional Hídrico**

El Programa Nacional Hídrico es un documento de acciones que se genera en el contexto del Plan Nacional de Desarrollo, como un programa especial de carácter obligatorio y con visión integradora multisectorial. El documento elaborado por la Conagua buscar mejorar las reformas al sector agua mexicano, de acuerdo con el artículo 20 de la Ley de Planeación, que indica “en el ámbito del Sistema Nacional de Planeación Democrática tendrá lugar la participación y consulta de los diversos grupos sociales, con el propósito de que la población exprese sus opiniones para la elaboración, actualización y ejecución del Plan y los programas a que se refiere esta Ley”.

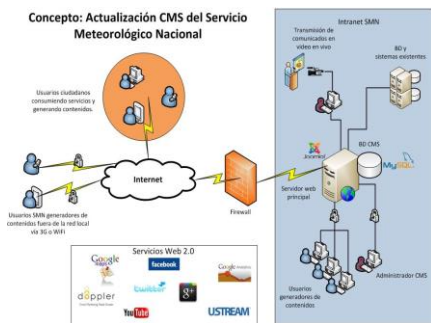
Es por ello que dentro de las tareas prioritarias para la elaboración del Programa Nacional Hídrico, se planteó la necesidad de captar las ideas y aportaciones de la sociedad a través de una consulta pública en Internet. Para este propósito, el IMTA construyó un sistema informático robusto que recogió, durante dos meses, la participación de 2,113 personas con 61,505 respuestas específicas y 2,147 participaciones a texto libre. El sistema está hospedado en el dominio www.pnh.gob.mx y ahí se muestran los resultados y estadísticas de este ejercicio.



- **Mantenimiento del Sitio Web de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional**

El objetivo de este proyecto fue actualizar e implementar el sistema administrador de contenidos que opera en el portal web de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN), aplicando las últimas actualizaciones y parches de seguridad vigentes. De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Actualización del administrador de contenidos del portal de Internet y sus componentes.
2. Actualización y migración de la base de datos, servidor web y servidor de *scripts* PHP.
3. Fortalecimiento del nivel de seguridad informático del portal, mediante la implementación de una metodología de seguridad, en conjunto con el *firewall* y el servidor web.
4. Cumplimiento de las recomendaciones del informe de análisis forense 02012013-Conagua, en el que se determinaron las vulnerabilidades existentes en la configuración anterior.
5. Puesta en producción de la plataforma actualizada en las instalaciones de la CGSMN, con la correcta y segura operación del sistema, la cual consta de tres servidores en las instalaciones de la CGSMN y uno en las oficinas centrales de la Conagua.
6. Entrenamiento del personal informático de la CGSMN en la aplicación de la metodología de desarrollo e implementación de sitios web, así como del esquema de seguridad utilizado en todos los servidores que dan soporte al proyecto.



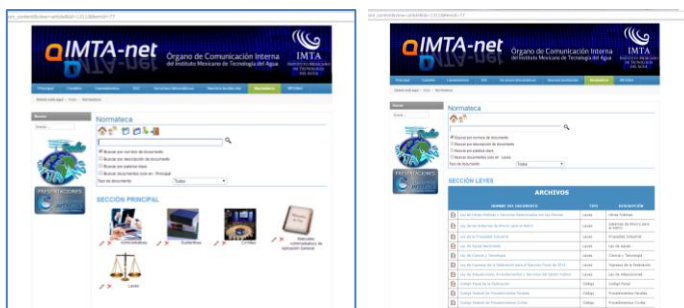
- **Sistema de gestión documental para la nueva Normateca del IMTA**

IMTAnet es el órgano de comunicación interna del IMTA. Entre sus funciones tiene el servir como repositorio actualizado de los documentos que rigen el actuar del personal. Los tipos de documentos que engloban la Normateca son: reglamento, lineamiento, código, manual y estatuto, entre otras.

La actualización de estos documentos estaba soportada por el sistema de administración de contenidos, que con el tiempo se quedó limitada en cuanto a las posibilidades de gestión y búsqueda de documentos. Por ello, en septiembre se desarrolló un nuevo sistema para la Normateca. En noviembre se realizaron las pruebas del nuevo sistema, quedando este en operación a partir del 31 de diciembre. Las características funcionales del sistema son:

- Categorización por secciones.
- Buscador avanzado con cuatro diferentes criterios de búsqueda.
- Módulo de gestión de documentos con acceso restringido.

Para la puesta en marcha de este sistema, se impartió una capacitación orientada al personal encargado de actualizar los contenidos de sus áreas respectivas.



- **Participación en el X Encuentro Nacional de Cultura del Agua**

Con el lema Cultura hídrica: un enfoque pluridimensional, del 23 al 25 de abril se realizó en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, el X Encuentro Nacional de Cultura del Agua organizado por la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, la Conagua, la Asociación Nacional de Cultura del Agua, el gobierno estatal de Chihuahua y el municipio de este mismo nombre, con la participación de varias instituciones del sector.

Como el espacio más importante en materia de análisis, reflexión, cooperación y participación en torno a la cultura hídrica en el país, el encuentro convocó a expertos en agua, promotores de cultura, industriales, académicos, funcionarios y a la sociedad en general.

En este foro el IMTA, como brazo tecnológico del sector agua en el país, tomó parte activa con diversas contribuciones a la construcción de la nueva cultura hídrica que requiere el país, mediante la formación de recursos humanos y la difusión de conocimiento hídrico científico y tecnológico.



Mesa de honor en la inauguración



Lic. César Duarte Aguirre, Gobernador Constitucional del estado de Chihuahua



Dr. David Karaméld Fedorov, Director General de la Comisión Nacional del Agua



Dr. Juan Víctor Javier Encargado, Director General del IMTA, Asesor en Conferencia Regional



Desequilibrio en la prestación de los servicios

- **EXPO Verde 2013 Morelos**

En el marco de la conmemoración del Día Mundial del Medio Ambiente, en el estado de Morelos se llevó a cabo la EXPO Verde 2013 del 5 al 9 de junio, en el Parque Chapultepec de la ciudad de Cuernavaca.

En la exposición, cuya inauguración fue presidida por el Gobernador Constitucional del Estado de Morelos, el IMTA presentó la casa ecológica, así como las ecotecnias de la casa, ya aplicadas en Morelos y en otras entidades del país. Como esta casa modelo existen diez en el estado que son, a su vez, espacios de educación y cultura ambiental.



- **Congreso IMTA 2013, Seguridad Hídrica**

El 13 y 14 de junio, en el auditorio José Antonio Maza Álvarez, del IMTA, se celebró el Congreso IMTA 2013, Seguridad Hídrica, donde especialistas del Instituto presentaron 32 ponencias sobre los proyectos más representativos del Instituto en la actualidad, en cuanto al tema “Seguridad Hídrica”. Con este evento, se abrió un espacio de comunicación interna en torno a proyectos y líneas de investigación relevantes para la gestión del agua en el país.



- **Comité Organizador de las Brigadas Quetzalatl**

El IMTA forma parte del Comité Organizador de las Brigadas Quetzalatl, junto con el Instituto de Educación Básica del Estado de Morelos, el Organismo de Cuenca Balsas, la Comisión Estatal de Agua del estado de Morelos, la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Morelos, la Delegación Morelos de la Semarnat y organizaciones de la sociedad civil. El Comité apoya proyectos desarrollados por estudiantes de las Secundarias Técnicas del estado de Morelos. El mes de junio se celebró el XIV Foro Estatal del Agua con la participación de 44 Secundarias Técnicas públicas y privadas, donde se presentaron 24 proyectos en seis mesas de trabajo.

- **Comité Organizador de la Cumbre Infantil Morelense por el Medio Ambiente (CIMMA)**

El IMTA forma parte del Comité Organizador de la CIMMA, junto con el Educación Básica del Estado de Morelos, la CONAGUA, la Comisión Estatal de Agua del estado de Morelos, la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Morelos, la Semarnat y organizaciones de la sociedad civil. A la fecha, el IMTA ha participado en el proceso de capacitación a trescientos docentes que desarrollan proyectos ambientales en las escuelas primarias estatales. Los temas impartidos fueron: “Ciclo de vida del producto”, “Aprovechamiento de la naturaleza” y “Huella hídrica, ecológica y de carbono.”

- **Capacitación a maestros de educación especial**

Se han apoyado procesos de capacitación a maestros de educación especial, organizado por el Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable de la Semarnat, y maestros de educación básica del estado de Querétaro.

5. Agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades productivas de manera adecuada y sustentable

México Próspero

El agua, elemento promotor del desarrollo sustentable

- ***Manual de operación y mantenimiento de redes entubadas de riego***

En la medida en que crece la población y se desarrolla el país, a la vez se incrementa la demanda del recurso agua por los diferentes sectores básicos y productivos de la sociedad (urbano, agrícola, etc.), con la consecuente agudización de los problemas asociados a la baja disponibilidad hídrica que predomina en el territorio nacional. Al mismo tiempo, los efectos nocivos del cambio climático han provocado alteraciones en la distribución e intensidad de la precipitación, que en el sector agrícola impacta negativamente las fuentes de abastecimiento y consecuentemente la producción y productividad de los cultivos bajo riego.

En México existen 85 distritos de riego y alrededor de 39,500 unidades de riego que cuentan con infraestructura hidroagrícola para la distribución del agua a las zonas de cultivo. En esta infraestructura, se estima una eficiencia de conducción promedio del 60%, provocando fuertes pérdidas de agua. Ante esta problemática, la Conagua, dentro de sus programas de rehabilitación y modernización de las zonas de riego, incluye el fomento y apoyos específicos para el revestimiento o entubamiento de las redes de conducción y distribución.

A la fecha, dentro de los diferentes programas de apoyo gubernamental, en México se han instalado más de 40,000 ha con sistemas de riego entubados. Sin duda, las redes de riego entubadas implican un cambio tecnológico en la operación y manejo de los sistemas de conducción, ya que se requiere un nuevo esquema en la formulación de sus programas de riego, en la medición y control de los volúmenes entregados a los usuarios en las parcelas, procedimientos de mantenimiento y conservación de las tuberías, entre otros aspectos.

En este contexto, el IMTA desarrolló el manual *Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego*, que concentra la información bibliográfica, la experiencia de técnicos y usuarios de zonas de riego representativas del país, las aportaciones de investigadores de universidades e instituciones del sector agropecuario y la información de las principales empresas fabricantes de tuberías.

Sin duda, este manual será una valiosa herramienta de consulta, orientación y apoyo para el personal técnico de las instituciones, universidades y especialmente de las organizaciones de usuarios que operan directamente la infraestructura hidroagrícola en las zonas de riego, donde la versión impresa y digital (libro electrónico para PC e IPAD) permitirán su difusión y aprovechamiento ampliamente en el sector agrícola.



Manual *Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego*.

- ***Pruebas de eficiencias electromecánicas en 250 equipos de bombeo en pozos agrícolas en Zacatecas***

Actualmente, el desarrollo de los pequeños sistemas de riego denominados legalmente unidades de riego (UR), está a cargo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y la Conagua. La primera apoya con programas de asistencia técnica para la producción agrícola y, la segunda, supervisa la operación, realiza estudios de obra nueva o complementaria para mejorar el aprovechamiento del agua a nivel de red de distribución y parcelario. En 2013, el Gobierno Federal estableció el Compromiso Presidencial en el estado de Zacatecas para rehabilitar 5,000 pozos profundos de riego para agricultura. En apoyo a este proyecto, la Dirección Local Zacatecas de la Conagua invitó al IMTA para la realización de la primera etapa de pruebas de eficiencias electromecánicas en 250 pozos profundos en el presente año.

Las pruebas de eficiencias electromecánicas se tomaron como base para elaborar los proyectos del mejoramiento de las obras de cabeza de las UR y,

posteriormente, tecnificar la red de conducción y los sistemas de riego a nivel parcelario para que los usuarios hagan uso eficiente del agua y la energía eléctrica, acciones que permitirán incrementar la productividad del agua.

El proyecto se realizó seleccionando y capacitando a ocho ingenieros civiles a nivel regional, para que fueran capaces de determinar las eficiencias electromecánicas de pozos profundo y apoyar a personal del IMTA en el desarrollo del proyecto.

En las UR de 29 municipios en Zacatecas, se determinaron los parámetros hidráulicos: gasto, presión de descarga, nivel dinámico, nivel estático, entre otros, así como parámetros eléctricos de voltaje, amperaje, factor de potencia, los cuales se registraron, revisaron y analizaron para calcular la eficiencia electromecánica conforme a la norma NOM-006-ENER-1995 *Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.- Límites y métodos de prueba*. Asimismo, se consideraron los lineamientos técnicos de la Conagua para el caso específico de Zacatecas.

De las 250 concertaciones para determinar la eficiencia electromecánica, se calculó en 211 equipos de bombeo, de los cuales en 171 (68.4%) la eficiencia resultó menor del 40%. Estos equipos requieren ser rehabilitados o mejorados, según la norma NOM-006-ENER-1995. En 40 (16%) su eficiencia resultó mayor del 40% y, para los restantes 39, se recibieron solicitudes. Se observa un fuerte vandalismo en los equipos, ya que en algunos sistemas no fue posible hacer las pruebas por diversas causas como: robo de la bomba, motor, transformador, arrancador y medidor eléctrico, entre otras.

La media de las eficiencias electromecánicas de los 211 equipos de bombeo a los que se les realizó la prueba de eficiencia es de 36.62%, de los 171 equipos de bombeo con eficiencia de menor del 40%, su media es 32.45% y de los 40 equipos de bombeo con eficiencia de mayor del 40%, su eficiencia media es 54.46 por ciento.



Capacitación de personal técnico en pruebas de eficiencias electromecánicas.

hidroagrícola sobre el río es: Central Hidroeléctrica Solidaridad (Aguamilpa), presa derivadora Amado Nervo (El Jileño) y el canal margen derecha del río Santiago; y b) el sistema Acaponeta-Cañas, con una superficie física de 44,278 ha, aprovechando aguas del río Acaponeta.

Se realizó la actualización de los estudios topográfico, geológico, agrológico, agroclimático, uso actual del suelo, socioeconómico, tenencia de la tierra, hidrológico, banco de materiales, mercado, impacto ambiental y freaticométrico. También, se elaboró el diagnóstico técnico, la programación agrícola, el anteproyecto de la alternativa analizada y el costo de las obras, así como la evaluación económica correspondiente. A continuación, se presentan algunos resultados relevantes para el sistema Santiago-Rosamorada (Canal Centenario y zona de riego).

Los climogramas elaborados para la zona del proyecto muestran que, para la producción agrícola, se requiere tanto de riego como de drenaje, ya que se presenta un periodo de escasez para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos de noviembre a mayo y un periodo de exceso de junio a octubre.

Las clases de suelo identificadas en la zona de proyecto del Canal Centenario son: 12,410 ha de suelos de primera clase, 26,764 ha de suelos de segunda clase y 3,931 ha de suelos de tercera clase. Dichos suelos presentan las mejores condiciones para destinarse al riego por gravedad. El uso actual del suelo es predominantemente agrícola (73 %).

Se efectuó el anteproyecto de las obras siguiendo las normas técnicas de la Conagua. A partir del anteproyecto de las obras, se estimaron los costos del proyecto, el cual asciende aproximadamente a \$6,900 millones.

Con base en consideraciones de clima, suelo y mercado, principalmente, se propuso la cédula de cultivos de proyecto.

La construcción del Canal Centenario permitiría triplicar el volumen de producción, el valor de la producción y la productividad. En la situación actual, se estima un volumen de producción de 166,000 toneladas, un valor de la producción de \$734 millones y una productividad de 3.9 t/ha. Con la operación de las obras, se tendría un volumen de producción de 511,000 toneladas, un valor de la producción de \$2,278 millones y una productividad de 11.85 t/ha.

De la evaluación económica, se concluyó que la construcción de las obras del Canal Centenario y su zona de riego es rentable para la sociedad, al obtener un valor presente neto positivo de \$1,904 millones, una relación beneficio-costos

de 1.4 y una tasa interna de retorno TIR de 15.7%, superior a la tasa de descuento del 12% establecida en la normatividad vigente.

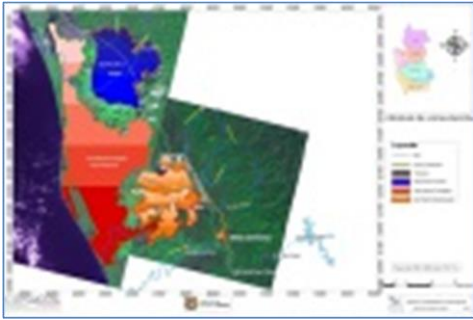
| Ciclo/Cultivo | Superficie (ha) |
|---------------------------|-----------------|
| Otoño - Invierno | |
| Frijol | 9,027 |
| Mais | 21,249 |
| Sorgo grano | 7,700 |
| Chile | 3,200 |
| Jitomate | 750 |
| Perennes | |
| Mango | 1,179 |
| Subtotal | 43,105 |
| Primavera - Verano | |
| Aroz | 7,759 |
| TOTAL ANUAL | 50,864 |

Cédula de cultivos de proyecto.

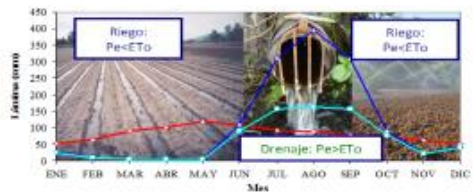
Resumen de inversiones del Canal Centenario.

| Concepto | Costo (\$) |
|---|----------------------|
| Costo directo | |
| Proyectos ejecutivos y estudios complementarios | 56,000,000 |
| Canal Centenario | 1,573,477,767 |
| Canales secundarios | 2,587,996,942 |
| Mitigación de daños | 42,700,000 |
| Drenes (incluye bordos) | 1,141,762,376 |
| *Subtotal 1 | 5,401,937,085 |
| Costo indirecto | |
| *Ingeniería y administración 5% | 270,096,854 |
| *Supervisión 3% | 162,058,113 |
| Subtotal 2 | 432,154,967 |
| Subtotal 3= subtotal 1 + subtotal 2 | 5,834,092,052 |
| IVA 16%= .16xsubtotal 3 | 933,454,728 |
| Total= subtotal 3 + IVA | 6,767,546,780 |
| Indemnizaciones sin IVA | 106,063,587 |
| Gran total = total + indemnizaciones | 6,873,610,367 |
| Inversiones sociales | 5,940,155,639 |

Nota: el presupuesto de caminos se incluye en el de canales y drenes.



Zona de proyecto del Canal Nayarit.



Climograma típico en la zona de proyecto del Canal Centenario.



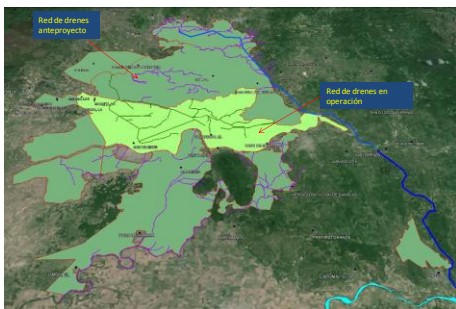
Clases de suelo en la zona de influencia del proyecto del Canal Centenario.



Uso del suelo en la zona proyecto.



Localización de canales en zonas de proyecto.



Red de drenaje en las zonas proyecto.

- ***Programa para la Conservación y Manejo Sustentable de la Subcuenca Tejalpa, en la porción del Nevado de Toluca***

El 1 de octubre de 2013, mediante decreto presidencial, el área del Nevado de Toluca deviene en un Área de Protección de Flora y Fauna, como parte de la estrategia del Gobierno Federal para combatir los efectos del cambio climático y la mejora de la calidad del aire.

En este contexto, el IMTA realizó un programa con componentes, acciones, prácticas y obras que permiten controlar los procesos erosivos que producen los azolves, mismos que impactan los cuerpos de agua y obras de infraestructura, con la finalidad de regular los escurrimientos superficiales e inducir la infiltración y recarga del acuífero del Valle de Toluca.

Para ello, se elaboró el diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca Tejalpa-Terrerillos (5,048.25 ha), estableciendo la línea base; formulando propuestas de manejo agrícola, pecuario y forestal, así como de indicadores ambientales y socioeconómicos para el monitoreo y evaluación de la cuenca, acordes con el Área Natural Protegida.

Asimismo, se analizaron las fallas en la infraestructura de retención de azolves en la red hidrográfica principal y se hizo un estudio del pago de servicios ambientales para fomentar las acciones de conservación y restauración del Nevado.

Se establecieron módulos demostrativos de prácticas de conservación para favorecer la infiltración de agua y retención de azolves en 12 ha y módulos agroforestales en 1.9 ha. Se capacitó a personal de los municipios inmersos en la cuenca, en la metodología de planeación participativa. Estas acciones benefician directamente a una población estimada de 54,950 habitantes y la información generada es esencial para la integración de programas de restauración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.



- ***Desarrollo y transferencia de tecnología apropiada para la operación del módulo Santa Rosa, DR 075, Valle de El Fuerte, Sinaloa***

En el Marco del Pacto por el Agua en Sinaloa, y en atención a la entrega y cobro por volumen a nivel parcelario, la asociación de usuarios y la Conagua

realizaron, conjuntamente con el IMTA, el desarrollo de tecnologías de información y comunicación para la operación de zonas de riego mediante el *ICAM-Riego*, que contiene sistemas de información geográfica, de colecta, procesamiento y elaboración de reportes de estadística hidroagrícola e hidrométrica.

Los sistemas de información incluyen la asignación de volúmenes a usuarios y sus transferencias, el balance hídrico y pronóstico del riego por parcela, la estadística y reportes hidroagrícolas e hidrométricos hasta nivel parcelario, colecta y procesamiento del servicio de riego y desempeño de redes de distribución. Debido a que es un proyecto multianual, se trabaja para que esta información tenga acceso vía Internet en 2014.

También, incluye dos desarrollos tecnológicos: el medidor ultrasónico y la estación termopluviométrica con servicios remotos de envío de información. El primero es la base de entrega y cobro por volumen y, el segundo, el servicio Grado-Día-Crecimiento para pronóstico del riego y servicio vía Internet, de los requerimientos hídricos de todos los cultivos en zonas de riego y temporal.

Cabe señalar que el medidor ultrasónico de caudal posee telemetría para envío remoto de datos, que funciona en todo tipo de régimen hidráulico de un aforador de garganta larga, y es útil tanto en un pequeño surco, regadera parcelaria e interparcelaria, como en un canal en red menor o mayor. Este equipo tiene la ventaja de no presentar problemas de azolve a baja velocidad de flujo.

El medidor se basa en la reproducción de un perfil hidráulico medido en tiempo real con apoyo de tres sensores de nivel. Dichos niveles se establecen en una geometría y dependen del caudal en un aforador de garganta larga, los cuales permiten resolver el problema inverso y la determinación del gasto a partir de los niveles, con apoyo de la conservación de masa y cantidad de movimiento en todo tipo de régimen hidráulico del aforador.

Lo anterior beneficia a toda institución o persona que desee medir el agua en canal a cielo abierto y totalizar su volumen. Es un equipo de bajo costo y brinda apoyo en la medición de agua bajo condiciones de sequía, lo mismo en zonas de riego que de agricultura de temporal y microcuencas.



- ***Evaluación de impactos ambientales de tecnologías conservacionistas, utilizando el método de cuencas pareadas***

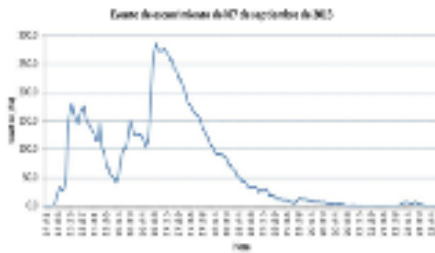
En 2012, el IMTA inició un proyecto que consideró la instrumentación con tecnología propia e instalación de aforadores de garganta larga para evaluar los impactos ambientales de tecnologías conservacionistas, utilizando cuencas pareadas y cuantificación de los escurrimientos y la producción de sedimentos. En 2013, se continuó esta investigación para crear una base de datos con información precisa y robusta que permita describir con certeza el comportamiento del proceso lluvia-escurrimiento-erosión hídrica en microcuencas de la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán, y evaluar los impactos ambientales.

Durante el año se registraron 13 eventos de escurrimiento en la microcuenca Malacate (testigo) y solamente un evento en la microcuenca Ichupio (con

obras y prácticas conservacionistas). Se evaluó el volumen escurrido y las tasas de producción de sedimentos, así como las láminas precipitadas. En la microcuenca Malacate se obtuvieron concentraciones de sedimentos promedio de 4.9 g/L, mientras que en la microcuenca Ichupio fueron de 3.13 g/L. Los escurrimientos máximos en Ichupio oscilaron por los 20 L/s, mientras que en Malacate fueron de 180 a 530 L/s. Se obtuvo información confiable que muestra la eficiencia de las obras y prácticas para disminuir las tasas de escurrimiento y de producción de sedimentos. Además, se elaboró un video que muestra el proceso metodológico para la evaluación de impactos ambientales de las tecnologías conservacionistas.

Esta tecnología propia y desarrollada junto con la estación termopluviométrica hace posible cuantificar en tiempo real, en una microcuenca instrumentada, la relación que existe entre el volumen precipitado y de esorrentía, útil para calibrar modelos hidrológicos y cuantificar la recarga de acuíferos.





- **Validación del uso de energía renovable para su aplicación en el subsector agrícola**

México siembra diferentes cultivos en 21 millones de ha. La superficie tecnificada en riego, respecto al total, es del orden del 9.5%, y la mayoría se encuentran en distritos de riego (DR) y unidades de riego (UR).

Por un lado, el potencial agrícola de una microcuenca alta, media o baja es diferente. Por ejemplo, en la microcuenca alta se identifica gran potencial para frutales: manzana, pera, nogal; mientras que en la media lo es para aguacate, granado y café; y en la baja: mango y piña. Con la disponibilidad de agua en zonas de alta y media montaña, en el trópico húmedo en tiempo de lluvias, se debe explotar dicho potencial, incluyendo la producción de granos, forrajes y hortalizas, así como promover la cosecha de agua en tiempo seco.

Por otro lado, en muchos acuíferos someros de los DR y UR (30% de la superficie) la evaporación acumula salinidad, haciendo acuíferos superficiales salobres con gran disponibilidad de agua, pero escasamente explotable. Asimismo, la intrusión salina en zonas costeras hace que la calidad de agua de muchos DR ubicados al final del recorrido de ríos sea de mala calidad para uso agrícola y poco viable para tecnificar el riego.

Lo común en estas zonas es la disponibilidad de agua, muy alta en el caso de la parte alta y media de montaña y del trópico húmedo, por lo que tecnificar una superficie significa la posibilidad de realizar de tres a cuatro ciclos agrícolas, contrariamente a lo que sucede en zonas de riego donde se alcanza apenas un ciclo. La disponibilidad de agua salobre es una riqueza que debe aprovecharse.

El sistema de riego presurizado trabaja a una eficiencia electromecánica de $57 \pm 0.07\%$, el cual suministra agua a razón de 1 m^3 por cada 0.17 kWh y tiene una eficiencia de aplicación del 88% con un coeficiente de uniformidad de 92%. El proyecto de energía renovable en riego presurizado puede recuperar la inversión en alrededor de 58 meses.

Se estudió el desempeño de un desalador en términos del permeado, con relación a la disponibilidad del recurso solar y a la intensidad energética, atendiendo principalmente la remoción de sulfato y evitar la remoción de cloruro. Se observó que un lugar representativo de cuencas salinas está ubicado en Río Verde, San Luis Potosí, con una cantidad promedio de sólidos disueltos de 3,430, donde los sulfatos son lo que más afecta al agua salobre para poderla considerar agua de riego.

También, se estudiaron muestras sintéticas en condiciones de laboratorio en el intervalo de 1,100 y 4,000 μS . Se observó que el desalador propuesto tuvo una intensidad energética de 1.98 kWh/m³, lo que indica que en una zona con 6.6 horas pico es posible permear 3.3 m³/día, con una eficiencia de remoción de sulfatos del 97.5%. Con la solución propuesta, se observó que utilizando energía fotovoltaica se puede mejorar la calidad del agua salobre para riego mediante nanofiltración solar, y que implica un costo energético de 1.98 kWh/m³. Para el bombeo de agua para riego presurizado, se tuvo un costo energético de 0.17 kWh/m³, por lo que la intensidad energética de la solución integrada propuesta en este trabajo es de sólo 2.15 kWh/m³.

Dicha tecnología está disponible para atender zonas rurales de trópico húmedo o seco, particularmente en el altiplano, donde la calidad del agua existente, mediante el uso de esta tecnología, puede ser convertida en alimentos y agua potable para la población.

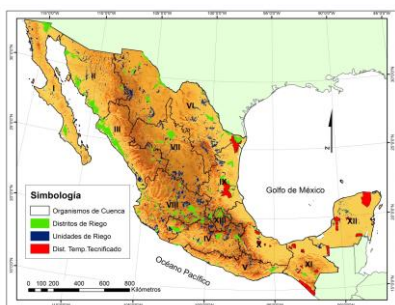


- **Sistematización de información para producción agrícola de los distritos de riego, unidades de riego y distritos de temporal tecnificado**

México ocupa el sexto lugar a nivel mundial con infraestructura hidroagrícola. Se tienen 6.3 millones de ha bajo riego distribuidas en 85 distritos de riego y más de 40,000 unidades de riego, que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los habitantes del medio rural.

Con objeto de integrar y homologar una base de datos agrícola única, la Conagua solicitó al IMTA la compilación, sistematización y publicación de los informes estadísticos de producción agrícola del año agrícola 2011-2012, en el marco de los siguientes tres proyectos: 1) *Integración de estadísticas agrícolas e hidrométricas de los distritos de riego de la república mexicana*, 2) *Recopilación e integración de la estadística agrícola del año 2012, de los 23 distritos de temporal tecnificado a nivel nacional*, y 3) *Elaboración y publicación de las estadísticas agrícolas de las unidades de riego para el año agrícola 2011-2012, a nivel nacional*.

Los tres informes estadísticos producidos son un insumo estratégico en la toma de decisiones y en el diseño de políticas públicas, al proporcionar indicadores de desempeño de la agricultura del país. Los resultados del proyecto indican que las zonas agrícolas bajo responsabilidad de la Conagua contribuyeron con casi dos terceras partes del valor de la producción agrícola nacional sobre la tercera parte de la superficie agrícola del país para el año agrícola 2011-2012.

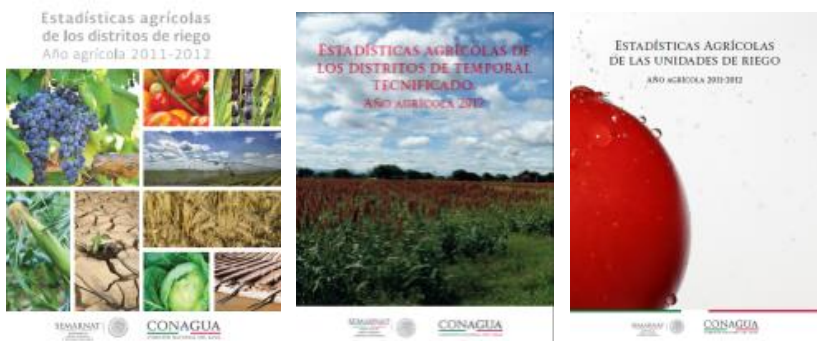


Zonas agrícolas de la Conagua.

Concentrado de estadísticas agrícolas de las zonas administradas por la Conagua, para el año agrícola 2011-2012.

| Zona Agrícola | SUPERFICIE | SUPERFICIE | VALOR DE LA PRODUCCIÓN (Millones de \$) |
|-----------------------------------|------------------|------------------|---|
| | SEMBRADA | COSECHADA | |
| | (Ha) | (Ha) | |
| DISTRITOS DE RIEGO | 2,795,908 | 2,763,809 | 112,803 |
| UNIDADES DE RIEGO | 3,246,651 | 3,136,292 | 142,194 |
| DISTRITOS DE TEMPORAL TECNIFICADO | 1,897,068 | 1,808,599 | 24,932 |
| SUBTOTAL (DR+UR+DTT) | 7,939,627 | 7,708,700 | 279,929 |

| | | | |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| % DEL TOTAL (DR+UR+DTT) | 36.3% | 37.6% | 68.2% |
| TOTAL NACIONAL | 21,901,600 | 20,511,050 | 410,160.25 |



Portadas de los informes estadísticos de producción agrícola generados para el año 2011-12.

- **Desarrollo de un portafolio priorizado de medidas de adaptación públicas identificadas para el sector agrícola**

Para apoyar con información a programas y políticas gubernamentales agrícolas sobre cambio climático, el IMTA realizó el estudio *Desarrollo de un portafolio priorizado de medidas de adaptación para el sector agrícola*, financiado por la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ, por sus siglas en alemán).

La metodología de trabajo consistió en revisar la información hidroagrícola de las zonas de riego en México y seleccionar medidas de adaptación viables en zonas agrícolas prioritarias, con base en el *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*, generado en el Instituto. Se identificaron y seleccionaron tres distritos de riego (DR) y una zona de temporal, considerados de alta vulnerabilidad: los DR 005 Delicias, Chihuahua; 034, Zacatecas, y 048 Ticul, Yucatán, y la región cafetalera de Chiapas.

En el marco del proyecto, se integró un portafolio con 29 medidas de adaptación al cambio climático del sector agrícola para las cuatro zonas agrícolas seleccionadas: ocho para el DR 005, ocho para el DR 034, nueve para el DR 048 y cuatro más para la región cafetalera.

Entre las principales medidas se encuentran: mejora del servicio de riego y de la red de distribución de agua, nivelación de tierras, tecnificación del riego parcelario, asistencia técnica a usuarios, rehabilitación y modernización de equipos de bombeo, mejora en la aplicación del riego por gravedad con

técnicas de conservación de humedad del suelo, prácticas culturales en función del desarrollo del cultivo, acolchado orgánico, agricultura protegida, reconversión de cultivos, restructuración y compactación de las asociaciones de usuarios. Además, se destacó el monitoreo de la extracciones de agua subterránea, la transferencia de tecnología de manejo sustentable del suelo y agua con parcelas demostrativas, la diversificación productiva y prácticas para la cosecha de lluvia.

Finalmente, se celebraron reuniones con el grupo de la Agencia Alemana de Cooperación Internacional donde se jerarquizaron y seleccionaron cinco de las 29 medidas de adaptación para su evaluación económica y posible implantación a mediano plazo. Entre las medidas de adaptación se hallan: aplicación de riego en surcos alternos para ahorro de agua en riego por gravedad, y conversión de riego por gravedad a riego por goteo.



Aplicación del riego en surcos alternos.



Conversión del riego por gravedad a goteo.

- **Actualización del proyecto ejecutivo Sobreelevación del Canal Principal Humaya y presa Derivadora Andrew Weiss, Sinaloa (primera parte)**

La Conagua solicitó al IMTA revisar la infraestructura y proyecto de sobreelevación del Canal Principal Humaya. El proyecto contiene siete actividades: 1) revisión de infraestructura y proyecto existentes, 2) revisión de coeficientes unitarios de riego y tabla área-capacidad, considerando módulos de la unidades de riego IV, V y distrito de riego 075, abastecidos por el canal, 3) estudio topográfico del canal Humaya: estudio batimétrico y funcionamiento de diques, 4) configuración y calibración de modelo de simulación hidráulico a las condiciones físicas del canal Humaya en régimen permanente, 5) revisión del funcionamiento hidráulico del canal para determinar la necesidad de sobreelevación y ampliación de estructuras de control, 6) recomendaciones de rehabilitación de tramos críticos del canal, y 7) proyectos ejecutivos y paquetes de concurso de dos sifones, tres represas y un tramo de 3 km de canal a sobreelevar.

Se encontró que el canal tiene infraestructura deteriorada, no adecuada para el correcto manejo del agua. Los proyectos disponibles no cuentan con toda la información para ser revisados, por lo cual fue necesario realizar un estudio topográfico del canal. El canal no fue diseñado para ofrecer un servicio de riego flexible, lo cual impone limitaciones a los módulos de riego en la superficie de riego que pueden asignar a cultivos de alta demanda, como el maíz. Los diques han perdido capacidad de almacenamiento y no sirven para control del agua, ya que no la pueden almacenar. Las condiciones hidráulicas presentes en el canal determinan el nivel en los diques. La limitación en algunos diques ha llegado a tal punto que ha sido necesario dragarlos para poder transitar el agua.

Los resultados preliminares en simulación resaltan el mal estado del canal. Los coeficientes de Manning obtenidos en la calibración del modelo son: $n = 0.022$, valor que se asocia con canales de concreto en muy mal estado y/o que han perdido su sección transversal por azolves. Las necesidades de rehabilitación son muy importantes, requiriendo remplazar el 2% del total de las losas y remover un importante volumen de azolve. Lo anterior tiene un costo aproximado de \$100 millones. Los proyectos originalmente solicitados se modificaron con el fin de adaptarse a las condiciones presentes en campo. También, se trabajó en tres sifones, dos represas y un tramo de 2 km de canal.



- ***Sistemas de información para incentivar el cobro-pago del agua***

El proyecto surge de una solicitud que la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) hizo al IMTA, con la finalidad de realizar un sistema de información específico sobre el cobro-pago del agua, tanto para organismos operadores del agua (OO) como para distritos (DR) y unidades de riego (UR), con miras al incremento de las eficiencias comercial y de cobro, que permitiera establecer una política de *benchmarking* entre los organismos involucrados, a través de estímulos económicos o en especie otorgados a los mejores con base a su categoría.

Para ello, se establecieron parámetros. En los OO se plantearon seis indicadores de desempeño: tres asociados al esquema hidráulico y operativo de los sistemas de agua potable (eficiencia física, comercial y global), y otros tres comerciales, los cuales se asocian con la autosuficiencia, eficiencia de facturación y eficiencia de cobro. Además del valor en cada uno de los seis indicadores, se calcula con base en la información de estos en los últimos tres años, su tendencia respectiva.

En cuanto a los DR, se consideraron dos tipos de indicador: los hidráulicos o volumétricos (productividad hídrica, rendimiento hídrico y lámina de riego), y los comerciales (suficiencia financiera, general y por servicio de riego y recaudación por m³).

En 2013, se contó con la participación de 168 organismos, a los que se pudo calcular al menos un indicador y, de estos, 128 con los seis indicadores estudiados. En relación con los 85 DR participantes, el estudio se realizó con información proporcionada por la Conagua, obteniendo los siete indicadores mencionados.

Los resultados de este estudio se encuentran en la dirección electrónica del proyecto www.fgra-cobro-pago.org.mx

Con los resultados de este proyecto, la FGRA cuenta con una herramienta que permitirá la elección de los OO y DR que mejor comportamiento hayan presentado para, con ello, elegir a los acreedores a un premio por su esfuerzo. Asimismo, la sociedad tiene la posibilidad de ver el comportamiento de los indicadores presentados por cada una de las instituciones participantes.

También, se celebró el evento Reconocimiento Fundación Gonzalo Río Arronte a las Mejores Prácticas en Cobro-Pago del Agua 2013, donde se premió a los OO y DR con mejores indicadores en eficiencia global y productividad hídrica, respectivamente.



Página del sistema (edición 2013).



Indicador de autosuficiencia, categoría IV (con más de 125,000 tomas).



Productividad hídrica en los distritos de riego del país, por categoría.

- ***Evaluación de las plantas de tratamiento de aguas residuales Sabritas Saltillo y Zapopan***

El Departamento de Proyectos y Tecnología en Sustentabilidad Ambiental de Pepsico, México, solicitó al IMTA la evaluación de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Saltillo, Coahuila, y Zapopan, Jalisco, pertenecientes a Sabritas S. de R. L. de C. V., con el fin de reusar el agua tratada en sus plantas de producción.

Cada uno de los procesos de las PTAR se evaluó desde el punto de vista de calidad agua potable. Los resultados obtenidos muestran que los efluentes de las plantas cumplen con la NOM-127-SSA1-1994 (modificación del año 2000) y son muy estables frente a variaciones de carga de contaminantes.

En términos generales, los sistemas cumplen con el objetivo de remoción de contaminantes según criterios de diseño, y presentan altas eficiencias de remoción en sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, grasas y aceites, nitrógeno total y fósforo total (>al 97.0%).



Planta de tratamiento de aguas residuales industriales Sabritas, Zapopan, Jalisco.



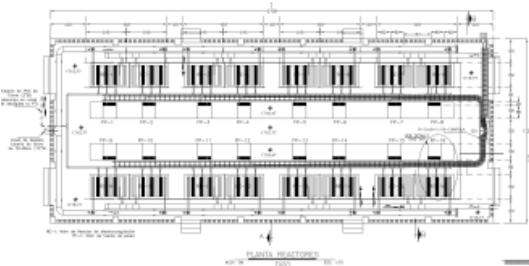
Muestreo del lodo deshidratado de la unidad de proceso filtro-banda, Saltillo, Coahuila.

- **Ahorro de agua mediante recuperación de purgas en torres de enfriamiento, a través de la eliminación de microorganismos, sílice y otras especies**

La electrocoagulación (EC) es un proceso eficiente para el acondicionamiento de agua en torres de enfriamiento, especialmente para zonas con alto contenido de sílice, como es el caso de la Central Termoeléctrica (CT) de Salamanca, donde en promedio se llega a los 80 mg/l de este contaminante.

En el presente estudio se utilizó un reactor de EC abierto, flujo ascendente y electrodos de aluminio, instalado en una planta piloto móvil que incluye una unidad de clarificación y filtración. Mediante pruebas con agua de alimentación de la torre de enfriamiento de la CT-Salamanca, la cual contiene un promedio de sílice de 80 mg/L, se validó la metodología y se obtuvieron datos que permitieron realizar el diseño ejecutivo de la planta de tratamiento del agua de repuesto de dicha central.

Se diseñaron reactores de EC modulares de 5 L/s para tratar un caudal global de 160 L/s y acoplarlos a la planta de tratamiento lateral en la CT. Con el tipo de sistema propuesto se redujo la concentración de sílice hasta 40 mg/L, concentración suficiente para operar las torres a cuatro ciclos de concentración, con un costo aproximado de \$7.78/m³. Dicha tecnología puede ser aplicada a otros sistemas con problemas de calidad de agua similares.



Vista en planta para uno de las casetas de reactores de electrocoagulación propuestos a la Comisión Federal de Electricidad, para el acondicionamiento de agua de enfriamiento.

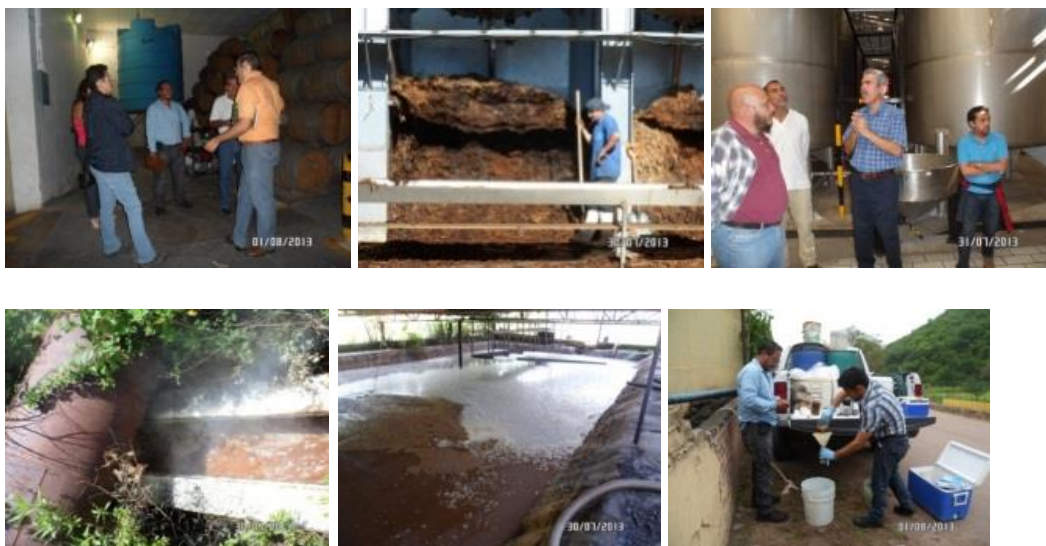
- ***Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria tequilera***

Con base en los resultados obtenidos de los trabajos de investigación y desarrollo tecnológico previamente realizados por el IMTA y el Centre de Recherche Industrielle de Québec (CRIQ), se firmó un acuerdo para desarrollar de forma conjunta una nueva tecnología de tratamiento para aguas residuales (vinazas) de la industria de bebidas alcohólicas.

El proyecto está planeado a cuatro años y su objetivo es obtener un tren de tratamiento para el agua residual de la producción del tequila, que pueda ser aplicado a cualquier tipo de proceso y dar cumplimiento con la normatividad mexicana vigente.

En la primera etapa se realizó la caracterización de las aguas residuales de diferentes tequileras, todas ubicadas en Jalisco (Tequila, Los Altos y Tonaya). Asimismo, se probaron tres procesos de oxidación avanzada (POA) a manera de pretratamiento, para generar una hidrólisis de las vinazas crudas.

Los POA utilizados fueron: fotólisis directa con luz ultravioleta, fotólisis UV con adición de peróxido de hidrógeno y foto-Fenton. El proceso que generó mayor remoción de materia orgánica fue la fotólisis UV y el proceso foto-Fenton (UV/Fe³⁺/H₂O₂), con remociones de carbón orgánico total, hasta el momento, del 12%, por lo que se deberá continuar con la optimización del proceso.



Muestreo de efluentes de diferentes industrias de tequila.

- **Generación de energía eléctrica a partir del tratamiento de aguas residuales por medio de bioceldas**

Actualmente, el IMTA realiza un estudio sobre celdas de combustible microbianas (CCM) para recuperación de bioenergía (electricidad) a través de aguas residuales. Las CCM son sistemas bioelectroquímicos capaces de generar electricidad a partir de la oxidación de la materia orgánica (glucosa, acetato y aguas residuales).

El trabajo efectuado en el IMTA presenta información (estado de arte) acerca del funcionamiento y caracterización de las CCM, con énfasis en los mecanismos de transporte de electrones y factores que influyen en su operación. En el estudio se utilizaron aguas residuales reales con bajo y alto contenido de materia orgánica. Para la evaluación de las CCM se monitoreó en tiempo real el voltaje, corriente eléctrica y potencia, utilizando un circuito abierto.

Los resultados muestran que en una CCM de 8.4 L se obtiene un voltaje de 1.0 V, y en una de 156 ml, entre 0.5 y 0.7 V; estos voltajes corresponden a los valores teóricos esperados. El desarrollo de esta tecnología a nivel mundial se encuentra en las primeras fases a escala laboratorio, por lo que la cantidad de electricidad que se genera es baja. Para su aplicación a escala real, aún hace falta más investigación. La importancia de este trabajo radicó en probar materiales nacionales de bajo costo y el uso de agua municipal real. Los resultados obtenidos presentan como una opción a largo plazo el uso de CCM para generar electricidad a partir de agua residual.



Prototipo experimental a escala laboratorio de una CCM con una cámara de oxidación.

- **Instalación puesta en marcha, operación y mantenimiento de prototipo experimental para tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria textil**

Debido a la alta contaminación causada en los últimos años por las descargas de la industria textil a cuerpos receptores, y a la falta de procesos de tratamiento eficientes para su degradación, es necesario buscar alternativas pertinentes que ayuden a minimizar las cargas contaminantes. Por ello, el Instituto desarrolló un prototipo experimental para evaluar diversas alternativas que resulten eficientes en el tratamiento de estos efluentes antes de su vertido.

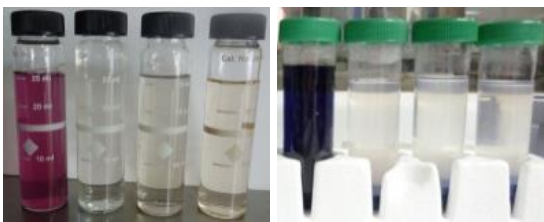
El objetivo principal de esta investigación fue evaluar dos tratamientos (uno enzimático y otro químico por el proceso de Fenton) para la decoloración de efluentes de la industria textil con presencia de colorantes azo, mediante el empleo de un prototipo piloto experimental que opera por lotes con tres tanques de un volumen útil de 35 L cada uno. Los experimentos se realizaron con agua de la descarga general de la industria textil.

En las pruebas Fenton, con una relación de 1:1 de sulfato de hierro y agua oxigenada, se obtuvieron eficiencias de decoloración y remoción de materia orgánica del 92 y 81% respectivamente. En cuanto al tratamiento enzimático, se logró alcanzar porcentajes de decoloración del 95% en un tiempo de reacción de cuatro horas. En este caso, la decoloración se obtuvo por un mecanismo de adsorción y no de bio-oxidación.

Al comparar las alternativas de tratamiento y de acuerdo con los porcentajes de decoloración y remoción de materia orgánica, así como los costos y tiempos de reacción, el proceso Fenton resultó ser más efectivo para tratar la descarga de la industria textil.



Planta piloto.



Muestras finales por el proceso de Fenton y enzimático.

- ***Operación y mantenimiento del sistema acuícola con reúso de agua residual tratada y descarga cero***

En Morelos los acuicultores compiten por el recurso hídrico con los agricultores. Estos últimos, por su actividad, contaminan el recurso con lixiviados agroquímicos afectando negativamente la calidad del agua y poniendo en riesgo la salud de los peces.

Para que los acuicultores no utilicen agua contaminada y eviten al máximo la descarga frecuente del agua de los reservorios, el IMTA desarrolló y evaluó el uso de un sistema de tratamiento que permite un ahorro de agua del 93%, garantizando que la calidad sea adecuada para la producción y desarrollo de los peces. Con esto, se fomenta el reúso y la reducción del consumo de agua de primer uso.

Se trabajó con peces guppy, espadas, miquis y carpa coy, japoneses, cíclidos, ángeles, sumatranos, pangasius y catanes. Durante el proyecto, se probaron dos variantes del sistema de filtración de flujo ascendente: uno empacado con tezontle y otro con tres densidades diferentes de esponja; ambos operaron a tasas de 3, 5 y 10 m³/m² h, por un periodo de cuatro meses.

Finalmente, no se observó diferencia en la calidad del agua obtenida entre el filtro de esponja y el de tezontle.



Filtros ascendentes: F1 esponja y F2: tezontle.



Reproducción de peces.

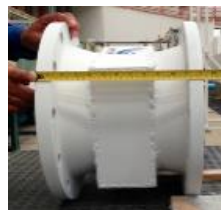
- ***Uso del campo magnético y materiales magnéticos como auxiliares en el tratamiento del agua y del agua residual***

El proyecto tiene como metas evaluar el desempeño de un dispositivo magnético desarrollado en el IMTA para control de incrustaciones y estimar los beneficios del uso del campo magnético en la remoción de contaminantes de agua residual.

Dos dispositivos magnéticos de 2 y 10 pulgadas respectivamente, diseñados y fabricados en el IMTA, fueron instalados en una torre de enfriamiento de la compañía BASF de Puebla y actualmente se evalúa su desempeño en el control de incrustaciones.

Los resultados del uso de un campo magnético como auxiliar en el tratamiento del agua residual, indican que la aplicación de baja intensidad (< 500 Gauss) permite incrementar entre un 25 y 30% la remoción de nitrógeno y fósforo totales, comparado con un tratamiento similar sin aplicación de campo magnético. Se recomienda continuar la investigación para definir las condiciones óptimas de operación y la forma más adecuada de aplicar el campo magnético para mejorar los resultados obtenidos.

A partir de los resultados, se ingresó al Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual la solicitud de patente: *Dispositivo magnético para el tratamiento de agua* MX/a/2013/014119.



Dispositivos experimentales diseñados en el IMTA.

- ***Estudio de diagnóstico técnico, legal y financiero para la rehabilitación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Fondo Nacional del Fomento al Turismo.***

En apoyo a las acciones que el Fondo Nacional de Fomento al Turismo (Fonatur) realiza para la conservación y desarrollo de los Centros Integralmente Planeados (CIP), se llevó a cabo el diagnóstico técnico, legal y financiero para la rehabilitación de 13 plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en Cancún, Quintana Roo; San José del Cabo y Loreto, Baja California Sur; Ixtapa, Guerrero; Huatulco, Oaxaca y Litibú, Nayarit.

A partir de estas evaluaciones, se elaboraron recomendaciones para mejorar la operación de las plantas e incrementar la eficiencia del tratamiento. Asimismo, se revisó la situación jurídico-administrativa de la infraestructura y se propusieron las acciones para regularizar las condiciones jurídicas ante las diferentes instancias gubernamentales.

Para revisar la viabilidad financiera de las acciones de mejora, se desarrolló un programa que permite, además de estimar los costos de operación y mantenimiento, evaluar las futuras inversiones y analizar las políticas de cobro por el servicio de tratamiento y el precio de venta de agua tratada. Se propuso un esquema de subsidios cruzados entre los CIP.



Planta de tratamiento de Pok Ta Pok, Cancún, Quintana Roo, México.

- ***Pruebas experimentales para el desarrollo de una tecnología de tratamiento de residuos de granjas porcícolas***

Se han continuado los trabajos que se llevan a cabo desde 2009 entre el IMTA y el Centre de Recherche Industrielle de Québec (CRIQ) de Canadá, con el objetivo de desarrollar un sistema de tratamiento anaerobio para la reducción de carga orgánica alta y acoplamiento con un sistema de pulimento para la reducción de nutrientes.

El sistema de tratamiento fue desarrollado y validado a escala piloto industrial, pero toda vez que su instalación a escala real está condicionada a la inversión de un particular, aún se continúa con la búsqueda de un inversionista para construir una planta y concretar la etapa final del proyecto. Se analizan otras fuentes de financiamiento para la construcción del sistema.



Planta instalada en la granja porcícola de Jojutla, Morelos.



Planta móvil.

- ***Certificación de competencias laborales para personal del sector***

En seguimiento a una de las atribuciones otorgadas al IMTA en la Ley de Aguas Nacionales, el IMTA mantuvo acreditada y continuó operando su Entidad de Certificación y Evaluación de Competencias Laborales. En 2013 se obtuvieron los siguientes resultados:

Se capacitó a 99 personas del sector en las funciones: Tratamiento de aguas residuales con lodos activados, para el personal de la Comisión Estatal del Agua de Querétaro (11 personas); Cuantificación del consumo de agua

potable con medición (50 personas) y Conservación de la red de agua potable (27 personas). Para la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS Chihuahua): Diseño de cursos de capacitación presenciales, sus instrumentos de evaluación y material didáctico (seis de la empresa Agua y Bienestar Social S. C.; tres de la Comisión de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Guerrero y dos personas independientes).

Se evaluó y certificó a 121 personas del sector en los siguientes estándares de competencia: tres en el EC0215 *Mantenimiento correctivo a instalaciones eléctricas industriales* (una persona de CFE y dos de una empresa privada), cincuenta en el EC0140 *Cuantificación del consumo de agua potable con medición* (empleados de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua); 27 en el EC0145 *Conservación de la red de agua potable* (técnicos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua); 15 en el EC0217 *Impartición de cursos de formación del capital humano de manera presencial grupal* (cuatro especialistas del IMTA y 11 profesores de la Universidad de Colima); 11 especialistas de la Comisión Estatal del Agua de Querétaro en el EC0214 *Tratamiento de aguas residuales con lodos activados*. Asimismo, se evaluó a 23 candidatos de la Comisión Estatal de Agua y Alcantarillado de Hidalgo en el EC0180 *Promoción de cultura del agua*, de los cuales sólo 15 obtuvieron su certificado, al ser declarados “Competentes”.



Impartición del curso *Atención a usuarios en la solicitud de servicios en entidades administradoras de agua*, Guanajuato, Guanajuato.



**Proceso de evaluación de competencias de personal de la JMAS Chihuahua, en el
EC0145 *Conservación de la red de agua potable.***

6. Consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua

México con Responsabilidad Global

El agua, elemento que pone a México como referente en el ámbito internacional

- **Programa Hidrológico Internacional**

El Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO es un programa intergubernamental a largo plazo y concebido en fases sucesivas, centrado en los aspectos científicos y educativos de la hidrología y de la gestión de los recursos hídricos, que impulsa diversos programas generales para el avance de la hidrología en el mundo. Uno de sus apoyos son los comités nacionales en cada país.

En 2013, el Comité Nacional Mexicano para el PHI (Conamexphi) celebró su X Reunión en las instalaciones del Instituto, donde se acreditó al M.I. Víctor Bourguett Ortiz, Director General del IMTA, como presidente del Conamexphi y presidente de la Cátedra UNESCO-IMTA: *El agua en la sociedad del conocimiento*.

De igual manera, en dicha reunión se dio la bienvenida a nuevos los coordinadores en los programas IFI, de Ecohidrología, Help-Cuencas, y de Agua y Educación; se hicieron presentaciones de avance de trabajos realizados durante 2012, así como de las propuestas de trabajo 2013 de cada uno de los programas globales y grupos de trabajo que integran el Comité. Se recomendó buscar un mayor alineamiento de los trabajos del comité con las áreas temáticas focales de la VIII fase del PHI, que inicia en 2014.



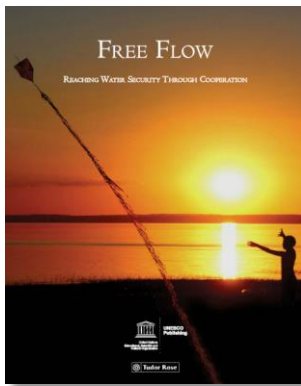
- **Presencia del IMTA en publicación de la UNESCO, con motivo del Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua**

En el marco del Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua, promulgado por la Asamblea General de las Naciones Unidas y coordinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) se editó el libro *Free Flow. Reaching Water Security Through Cooperation*, que destaca la importancia de las acciones de cooperación en materia hídrica para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

La intención de la UNESCO fue reunir a una amplia gama de profesionistas, académicos, científicos, funcionarios y demás actores involucrados en el sector hídrico internacional para que compartieran sus conocimientos y experiencias en el ámbito de la gestión del agua alrededor del mundo.

La contribución del IMTA se encuentra dentro del capítulo VI “*Water Cooperation, Sustainability and Poverty Eradication*” (Cooperación en la esfera del agua, sustentabilidad y erradicación de la pobreza) y describe los principales objetivos y resultados del Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro como un ejemplo de cooperación entre comunidades, municipios, organismos no gubernamentales e instituciones para revertir el deterioro ambiental tomando al agua como eje transversal y aplicando una metodología interdisciplinaria con un enfoque de manejo integral de cuencas.

En este libro, el IMTA difunde su quehacer y se presenta ante la comunidad internacional como una institución sólida que ejecuta acciones de alto impacto ambiental y con un espíritu de cooperación comunitaria, cuyas metodologías tienen un alto grado de replicabilidad para problemáticas similares en otras regiones del mundo.



Portada del libro *Free Flow. Reaching Water Security Through Cooperation.*



- ***Taller de Intercambio de Experiencias en Materia de Tecnologías del Agua México-África***

En el Marco del Programa de Cooperación Técnica Internacional del IMTA, y a raíz de un compromiso diplomático establecido entre México y el continente africano de colaborar en el tema del agua, se llevó a cabo el *Taller de Intercambio de Experiencias en Materia de Tecnologías del Agua México-África*, en Pretoria, Sudáfrica, del 29 de julio al 2 de agosto de 2013.

Este taller, el primero en su tipo realizado en el continente africano y cuyo objetivo fue intercambiar buenas prácticas e identificar las necesidades y retos que enfrenta África austral en materia hídrica, fue coordinado y financiado conjuntamente por la Secretaría de Relaciones Exteriores, a través de la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Amexcid); la Embajada de México en Sudáfrica, sede del evento, y el IMTA.

Asistieron al taller sendos representantes del sector agua de Angola, Botsuana, Lesoto, Mozambique y Namibia, y diez representantes de Sudáfrica, así como cinco especialistas del Instituto.

Los temas abordados fueron el tratamiento de aguas residuales, la potabilización del agua para consumo humano y técnicas de riego y drenaje. Adicionalmente, con el fin de enmarcar el evento en el Año Internacional de la

Cooperación en la Esfera del Agua, declarado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, se trataron también temas de índole social, como la apropiación de tecnologías en medios rurales y la gobernanza del agua.

Además de presentaciones formales, se llevaron a cabo mesas de discusión que enriquecieron el intercambio de ideas sobre los temas tratados y ayudaron a esclarecer los diversos problemas que enfrentan nuestras contrapartes africanas.

La continuidad que se dará a esta primera incursión en África será liderada por la Amexcid, en colaboración con el IMTA, y consistirá en la búsqueda o gestión de recursos para realizar proyectos concretos.

De esta manera, el IMTA colabora con los esfuerzos del gobierno de México por ampliar su cooperación internacional para el desarrollo hacia el continente africano, los cuales continuarán en el mediano y largo plazos.



- ***Procesos de planificación y políticas para formular el Programa Nacional Hídrico 2013-2018***

Mediante un convenio de colaboración con la Subdirección General de Planeación de la Conagua, el IMTA participó en la elaboración de las Bases de una Estrategia de Política Internacional del Sector Hídrico, así como en el establecimiento de Mecanismos de Difusión de las Actividades de la Cooperación Internacional del Sector Hídrico. Las bases estratégicas se centran en los diseños de enfoque de estrategias de cooperación internacional y de asistencia financiera internacional para el sector hídrico.

7. Premios y distinciones

- En el marco de la conmemoración del Día Mundial de la Propiedad Intelectual, el IMTA fue distinguido con el Reconocimiento Creatividad-La Nueva Generación, por parte del Instituto Mexicano de Propiedad Intelectual, por la destacada labor en la generación de patentes.



- El M. en I. Víctor Bourguett Ortiz, Director General, y el Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka, Coordinador de Hidráulica, fueron invitados a participar en el Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de Agua Potable y Saneamiento de la Cámara de Diputados, LXII Legislatura.



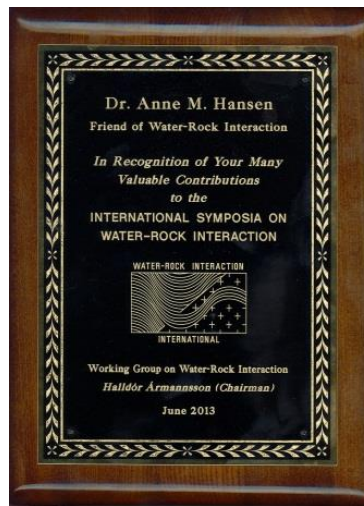
Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka, Coordinador de Hidráulica (tercero de derecha a izquierda).



Dip. Kamel Athie Flores (al centro), Presidente de la Comisión de Agua Potable y Saneamiento de la Cámara de Diputados, LXII Legislatura.

- La M. en I. Adriana Cruz Trujillo obtuvo la medalla a la excelencia al mejor promedio de la Primera Generación del Diplomado en línea Dirección de Organismos Operadores de Agua, de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, ONU-Hábitat y la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México.

- El grupo de trabajo sobre Water-Rock Interaction, de la International Association of Geochemistry, otorgó un reconocimiento a la Dra. Anne M. Hansen por su trayectoria como investigadora de la interacción agua-roca. Este reconocimiento se entrega cada tres años a un máximo de cinco investigadores.



- El Dr. Rivas Acosta fue seleccionado por el Ministerio de Comercio de China para participar, con una beca, como representante de México en un seminario especializado en el diseño de sistemas de telemetría hidrológica para su aplicación en países en desarrollo, impartido por la Hydrochina Zhongnan Engineering Corporation en Changsha, provincia de Hunan, del 4 de junio al 1º de julio de 2013.
- Estudiantes del Posgrado en Ingeniería UNAM, Campus Morelos, obtuvieron el primer, segundo y tercer lugar, tanto en maestría como en doctorado, en el Premio Nacional a las mejores tesis que otorga la Asociación Mexicana de Hidráulica.

Distinciones en el Programa de Posgrado IMTA-UNAM.

Maestría

Premio Ing. Oscar Vega Argüelles

| | Alumnos premiados | Título de tesis | Director de tesis |
|-------------------|---|--|-----------------------------------|
| 1er. lugar | Rodrigo Ulises Santos Téllez Facultad de Ingeniería de la UNAM (Campus Morelos) | <i>Modelación de solutos en redes de distribución de agua potable.</i> | Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka |
| 2do. lugar | Gilberto Zetina Domínguez Facultad de Ingeniería de la UNAM (Campus Morelos) | <i>Criterios de diseño de desarenadores a filo de corriente.</i> | Dr. Pedro Antonio Guido Aldana |
| 3er. lugar | Antonio Alcantar García Facultad de Ingeniería de la UNAM (Campus Morelos) | <i>Diseño de una estructura para el aforo y control de niveles en canales.</i> | Dr. Nahún Hamed García Villanueva |

Doctorado

Premio Ing. Aurelio Benassini Vizcaíno

| | Alumnos premiados | Título de tesis | Directora de tesis |
|-------------------|---|---|--------------------------------|
| 1er. lugar | Hugo Enrique Júnez Ferreira Facultad de Ingeniería de la UNAM (Campus Morelos) | <i>Optimización de redes de monitoreo de la carga hidráulica utilizando métodos geoestadísticos espacio-temporales</i> | Dra. Graciela Herrera Zamarrón |
| 2do. lugar | Jessica Vanessa Briseño Ruiz Facultad de Ingeniería de la UNAM (Campus Morelos) | <i>Método para la calibración de modelos estocásticos de flujo y transporte en aguas subterráneas, para el diseño de redes de monitoreo de calidad del agua</i> | Dra. Graciela Herrera Zamarrón |
| 3er. lugar | Roel Simuta Champo Facultad de Ingeniería de la UNAM (Campus Morelos) | <i>Diseño óptimo de redes de monitoreo de la calidad del agua subterránea con muestreo a diferentes profundidades</i> | Dra. Graciela Herrera Zamarrón |



ANEXOS

1 VINCULACIÓN CON CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (2013)

| Proyecto | Institución | Objetivo |
|---|--|--|
| <i>Mantenimiento y seguimiento de la vitrina tecnológica BIOTROP, en la escuela secundaria No. 2 de Cuernavaca (Tercera etapa).</i> | Centre de Recherche Industrielle de Québec. | Realizar trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo en la vitrina tecnológica BIOTROP. |
| <i>Pruebas experimentales para el desarrollo de una tecnología de tratamiento de residuos de granjas porcícolas IMTA-CRIQ (cuarta etapa).</i> | Centre de Recherche Industrielle de Québec. | Validar el funcionamiento y eficiencia, a escala real, del sistema de tratamiento para agua residual de granja porcina desarrollado conjuntamente por el IMTA y el CRIQ. |
| <i>Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria de bebidas alcohólicas (tequila).</i> | Centre de Recherche Industrielle de Québec. | Desarrollar en cuatro etapas una tecnología de tratamiento para las aguas residuales de la industria del tequila. |
| <i>Vital and Viable Services for Natural Resource Management in Latin</i> | Comisión de las comunidades europeas y Universidad | Concluir el estudio de factibilidad y la evaluación económica de las áreas seleccionadas. |

| | | |
|---|--|--|
| America. | Agraria de Viena. | |
| <i>Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático.</i> | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. | Apoyar a México en sus esfuerzos para desarrollar e implementar medidas piloto de adaptación para enfrentar las consecuencias de los impactos climáticos en los humedales costeros del Golfo de México, a través de la aplicación de acciones piloto que proporcionen información sobre los costos y beneficios de enfoques alternativos para reducir su vulnerabilidad. |
| <i>Sistema de registro de datos climatológicos en el estado de Morelos (2012-2013).</i> | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. | Generar una base de datos climatológicos que orienten en la planeación y toma de decisiones para el fortalecimiento de los sistemas productivos del estado de Morelos. |
| <i>Determinación del estado de salud e indicadores biológicos para la evaluación de la recuperación del río Apatlaco.</i> | Instituto Politécnico Nacional. | Evaluación del estado actual de la calidad del agua y sedimentos del río Apatlaco, mediante determinaciones fisicoquímicas. |
| <i>Posgrado conjunto IMTA-UNAM.</i> | Universidad Nacional Autónoma de México. | Coordinar y administrar el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos, en lo correspondiente a los posgrados en Ingeniería Hidráulica y Ambiental. |
| <i>Filtración de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes para remoción de macronutrientes.</i> | Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad de Guanajuato. | Determinar el efecto de diferentes variables sobre la remoción de macronutrientes de aguas residuales utilizando biopelículas inmovilizadas en diferentes medios. |
| <i>Servicios de mantenimiento preventivo, correctivo y</i> | Instituto Mexicano del Transporte. | Garantizar la confiabilidad de las mediciones y la óptima operación de las estaciones meteorológicas del IMT, a través de la aplicación de mantenimiento preventivo y correctivo y de |

| | | |
|---|---|---|
| <i>calibración de sensores de la Red de Estaciones Meteorológicas del IMT.</i> | | la calibración de los sensores de las estaciones meteorológicas. |
| <i>Aprovechamiento responsable y tratamiento del agua.</i> | Universidad de Guanajuato. | Fortalecer los conocimientos y la sensibilización sobre la importancia del consumo responsable del agua, incluyendo el tratamiento de las aguas residuales, así como el uso de las tecnologías asociadas con el manejo del agua, a través de la presentación de dos temas: Consumo sustentable del agua y Tecnologías para el uso sustentable del agua. |
| <i>Modelación y diseño de redes de agua potable con demanda estocástica integradas con sistema de información geográfica.</i> | Segunda Universidad de Nápoles, Italia. | Desarrollar metodologías de diseño óptimo automatizado de la sectorización de las redes de distribución de agua potable. |

2 ADMINISTRACIÓN

PRESUPUESTO DE EGRESOS DE LA FEDERACIÓN 2013
FLUJO DE EFECTIVO
PRODUCTORAS DE BIENES Y SERVICIOS
(Pesos)

| INGRESOS | | EGRESOS | |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| CONCEPTO | MONTO | CONCEPTO | MONTO |
| TOTAL DE RECURSOS | 589,748,632 | TOTAL DE RECURSOS | 589,748,632 |
| DISPONIBILIDAD INICIAL | 134,190,534 | GASTO CORRIENTE | 441,098,371 |
| CORRIENTES Y DE CAPITAL | 201,013,396 | SERVICIOS PERSONALES | 178,040,808 |
| VENTA DE BIENES | 480,866 | MATERIALES Y SUMINISTROS | 19,354,170 |
| VENTA DE SERVICIOS | 194,713,407 | SERVICIOS GENERALES | 224,298,833 |
| INGRESOS DIVERSOS | 5,819,123 | OTRAS EROGACIONES | 19,404,560 |
| SUBSIDIOS Y TRANSFERENCIAS DEL GOBIERNO FEDERAL | 254,544,702 | INVERSIÓN FÍSICA | 13,499,385 |
| SUBSIDIOS CORRIENTES | 650,444 | BIENES MUEBLES E INMUEBLES | 13,499,385 |
| CORRIENTES | 253,894,258 | SUMA DE EGRESOS DEL AÑO | 454,597,756 |
| SERVICIOS PERSONALES | 178,040,944 | DISPONIBILIDAD FINAL | 135,150,876 |
| MATERIALES Y SERVICIOS | 75,853,314 | | |

3 PROYECTOS 2013 QUE CONFORMAN ESTRATEGIAS INTEGRALES DE ATENCIÓN

El IMTA ha desarrollado una serie de proyectos que, de manera integral, atienden problemáticas incorporando el criterio natural del espacio físico asociado al territorio, así como su dinámica social, económica y ambiental. Al mismo tiempo, se genera una aproximación multidisciplinaria al involucrarse diversas áreas técnicas del instituto. Este enfoque ha permitido obtener los casos más logrados de gestión integral del agua y enfoques transversales que permiten a las diferentes disciplinas articular la información, habilidades y conocimiento de los expertos para así colaborar en la solución de problemas complejos.

| Programa de Recuperación Ambiental | |
|---|--|
| Clave | Nombre del proyecto |
| HC1328.4 | Coordinación técnica del Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán. |

| Cambio climático | |
|-------------------------|---|
| Clave | Nombre del proyecto |
| CE1101.9 | Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático. |
| CP1128.5 | Vulnerabilidad social y construcción de capacidades para la adaptación al cambio climático. Una propuesta con enfoque de género en Yucatán. |
| CP1313.1 | Estudio sobre vulnerabilidad social y adaptación al cambio climático. |
| DP1324.3 | Cursos de actualización para el personal de los espacios de cultura del agua del estado de Tabasco. |
| DP1342.1 | Analizar la vulnerabilidad y evaluar los costos del cambio climático en OOAPAS. |
| DP1344.1 | Entidad Nacional Implementadora del Fondo de Adaptación al Cambio Climático en México. |
| RD1310.1 | Seguimiento al impacto del cambio climático en el ensalitramiento de los suelos en |

| | |
|----------|---|
| | un módulo de riego. |
| TC1323.1 | Estrategia para la aplicación de la norma de caudal ambiental hacia un enfoque adaptativo al cambio climático, así como implementar la NMX-AA-159-SCFI-2012 para su difusión en el área focal de ecohidrología. |
| TH1209.7 | Participación del IMTA en el desarrollo del proyecto de actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional. |
| TH1214.7 | Posibles impactos de cambio climático en la disponibilidad de agua en México. |
| TH1302.1 | Sistema de resúmenes estadísticos climáticos de regiones definidas en la república mexicana. |
| TH1303.1 | Predicción de los cambios en las curvas de las frecuencias de inundación debido al cambio climático. |
| TH1306.1 | Desarrollo de una plataforma computacional que incluye información geográfica y documental sobre cambio climático en México. |

4 CATÁLOGO DE PROYECTOS DESARROLLADOS (DICIEMBRE 2013)

| Servicios de agua adecuados y asequibles para mejorar la calidad de vida de los mexicanos |
|--|
| HC1302.1 Medición de caudales en canales y ríos mediante sistemas ultrasónicos (Doppler y tiempo de travesía). |
| HC1303.1 Captación y almacenamiento de agua de lluvia comunitarios y desarrollo de tecnologías apropiadas en materia de agua a nivel de vivienda. |
| HC1304.1 Monitoreo de niveles en cuerpos de agua superficiales así como de consumos y pérdidas en sistemas urbanos mediante sensores no intrusivos y de contacto directo. |
| HC1308.1 Indicadores de gestión prioritarios en organismo operadores. |
| TC1302.1 Gestión de laboratorios de Calidad del Agua. |
| TC1305.1 Estudio de tratabilidad y coexposición al arsénico y fluoruros en agua de bebida. |
| TC1306.1 Mecanismos de transporte de aniones mono y polivalentes en membranas de nano filtración. |
| TC1307.1 Eliminación de contaminantes orgánicos emergentes mediante fotocatalisis heterogénea con TiO ₂ empleando luz solar. |
| TC1318.1 Evaluación a escala real de prototipos para remoción simultánea de materia orgánica y nitrógeno en aguas residuales. |
| TC1320.1 Uso del campo magnético y de materiales magnéticos como auxiliares en el tratamiento del agua y del agua residual. |
| TC1321.1 Valoración de la potencia biológica de mezclas de estrógenos ambientales utilizando las vitelogeninas como biomarcadores moleculares inducidas en el pez <i>Danio rerio</i> . |
| TC1322.1 Desarrollo de metodologías y su aplicación para la determinación de cianobacterias y de compuestos emergentes en cuerpos de agua residual y agua potable. |
| TC1324.1 Herramientas biológicas para el análisis de toxicidad y detección de efectos asociados a contaminantes, en sistemas acuáticos epicontinentales. Aplicación, adaptación y validación de tecnologías (Tercera parte). |
| CP0925.7 <i>Vital and Viable Services for Natural Management in Latin America (VIVACE)</i> . |
| CP1322.3 Verificación de la sostenibilidad de los servicios proporcionados dentro del marco del Prossapys durante el periodo 2008-2011. |
| CP1126.4 Asistencia técnica para la introducción de tecnologías apropiadas de saneamiento en la operación del Programa Hábitat-Sedesol de la Secretaría de Desarrollo Social. |

| |
|---|
| CP1325.4 Desarrollo del sistema informático para la gestión de información sobre el cobro-pago del agua en México. |
| TC0838.7 <i>Investigation of the Impact of Arundo donax in Mexico and Evaluation of Candidate Biological Control Agents.</i> |
| TC0873.5 Ahorro de agua mediante recuperación de purgas en torres de enfriamiento a través de la eliminación de microorganismos, sílice y otras especies químicas. |
| TC1109.4 Filtración de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes para remoción de macronutrientes (tercera etapa). |
| TC0920.7 Pruebas experimentales para el desarrollo de una tecnología de tratamiento de residuos de granjas porcícolas. IMTA-CRIQ (cuarta etapa) |
| TC1125.4 Mantenimiento y seguimiento de la vitrina tecnológica BIOTROP en la escuela secundaria No 2 de Cuernavaca (Tercera etapa). |
| TC1242.3 Estudio de Diagnóstico técnico, legal y financiero para la rehabilitación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Fondo Nacional de Fomento al Turismo. |
| TC1243.3 Estudio y asesoría técnica para la licitación e instalación de plantas potabilizadoras a pie de pozo para remoción de arsénico en Torreón, Coahuila: segunda etapa. |
| TC1326.3 Evaluación de las plantas de tratamiento de aguas residuales Sabritas, Saltillo (Coahuila) y Zapópan (Jalisco). |
| TC1327.3 Proyectos ejecutivos de tres plantas potabilizadoras para remoción de arsénico en Torreón, Coahuila. |
| TC1333.3 Diseño y construcción de una planta potabilizadora de campaña. |
| TC1334.3 Diagnóstico de planeación integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Valle de Bravo, Estado de México. |
| TC1335.3 Estudio de factibilidad de la remediación del acuífero Cuautitlán-Pachuca, localmente contaminado por cromo en la zona de Lechería, municipio de Tultitlán, Estado de México. |
| TC1336.3 Control biológico de lirio acuático de la presa Colorines del sistema Cutzamala, Estado de México. |
| TC1339.3 Análisis de riesgos sanitarios por la presencia de contaminantes emergentes y no regulados en fuentes de abastecimiento superficiales afectadas por aguas residuales en las localidades de Guanajuato, Guadalajara y Valle de Bravo. |
| TC1340.3 Manual de evaluación rápida de plantas potabilizadoras. |
| TC1343.3 Diseño para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, periurbanas y desarrollos ecoturísticos. |
| TC1344.3 Alternativas tecnológicas de tratamiento de aguas residuales para la recarga artificial de acuíferos. |
| TC1345.3 Aplicación de fuentes de energía alternativa en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. |

| |
|--|
| TC1346.3 Diseño para el tratamiento y disposición de lodos de aguas residuales municipales. |
| TC1332.3 Análisis de factibilidad del reúso de agua residual tratada con fines de uso y consumo humano (Primera parte). |
| TC1350.3 Diagnóstico técnico y financiero del sistema de saneamiento de Valle de Bravo, Estado de México. |
| TC1351.3 Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización, lagunas aireadas, lodos activados y filtros rociadores para el tratamiento de aguas residuales municipales. |
| TC1352.3 Diseño de humedales artificiales, reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) y filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) para el tratamiento de aguas residuales municipales. |
| TC1353.3 Estudio de tratabilidad de aguas residuales con alto contenido de sólidos suspendidos mediante coagulación-floculación-sedimentación y biorreactor con biomasa inmovilizada. |
| TC1355.4 Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria de bebidas alcohólicas (tequila). |
| TC1356.3 Programa de Monitoreo de las Condiciones Ambientales en la Laguna Valle de las Garzas, laguna San Pedrito y laguna Cuyutlán, Manzanillo, Colima (Cuarto año). |
| TC1357.3 Estudio geohidrológico y de calidad del agua para determinar las fuentes de contaminación del agua por arsénico y elaboración de proyectos ejecutivos para resolver la problemática en pozos profundos de Emiliano Zapata y Xochitepec. |
| TC1358.3 Revisión técnica de proyectos ejecutivos, diagnóstico para rehabilitación de una planta de ósmosis inversa, y muestreo de fuentes para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Chilpancingo, municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. |
| TC1360.3 Estudio para la identificación de las causas, niveles y grado de contaminación ambiental en la laguna de Tuxpan, Guerrero y propuestas para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en ella y sus afluentes. |
| TC1361.3 Estudio para la detección de fuentes contaminantes por descargas de agua residual al río Atoyac entre la ciudad de Oaxaca y el sitio de la presa Paso Ancho. |
| TC1362.3 Estudio de alternativas de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Frontera, municipio de Centla, Tabasco. |
| TC1363.3 Proyectos ejecutivos de dos plantas potabilizadoras a pie de pozo para remoción de arsénico y dureza en fuentes de abastecimiento del estado de Morelos. |
| TC1364.3 Estudio para la identificación de las causas, niveles y grado de contaminación ambiental en la laguna de Tuxpán, Guerrero. |

| |
|---|
| TC1365.3 Lineamientos para la optimización del diseño, construcción y operación de la tecnología para remoción de hierro y manganeso en agua potable. |
| TC1366.3 Elaboración de los términos de referencia y asesoría para las bases de licitación y supervisión de la planta de nanofiltración para potabilizar agua de mina en la cabecera municipal de Fresnillo, Zacatecas. |
| TC1367.3 Diagnóstico y evaluación de propuestas para el control de especies acuáticas invasoras en el DR 038 Río Mayo Sonora. |
| TC1368.3 Determinación de la calidad del agua en 120 puntos de descarga de aguas residuales que se vierten a cuerpos receptores de propiedad nacional. |
| TC1371.4 Mejoramiento de las condiciones sanitarias en tres escuelas periurbanas con escasos recursos hídricos y económicos en el Estado de México. |
| TC1134.6 Inventario y programa de manejo integral para la conservación de los humedales del Soconusco, a través de su delimitación, caracterización ecológica, hidrológica, social y grado de riesgo. |
| TC1331.3 Caracterización de los esquemas de flujo que siguen los efluentes inyectados en pozos de absorción en las plantas de tratamiento de aguas residuales Saástun-Ja' y Gonzalo Guerrero, y Diagnóstico de la calidad del agua en los cenotes de la zona de estudio y descargas de aguas residuales de las plantas de tratamiento de la ciudad de Playa del Carmen, Q. Roo. |
| TC1231.4 Mejoramiento de las condiciones sanitarias en tres escuelas periurbanas con escasos recursos hídricos y económicos en el Estado de México. |
| TC1109.4 Filtración de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes para remoción de macronutrientes (Tercera etapa). |
| TC1342.4 <i>Segundo Curso Internacional sobre Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas y Lodos Residuales y Aprovechamiento (Segunda fase).</i> |
| TH1227.3 Identificación de nuevas fuentes de abastecimiento para la empresa Patrón Spirits México. |
| TH1218.4 Determinación del estado de salud e indicadores biológicos para la evaluación de la recuperación del río Apatlaco (2012-2013). |
| RD1218.3 Instrumentación de la medición y operación de la tubería de gasto ecológico del proyecto hidroeléctrico Zongolica. |
| TH1314.3 Caracterización de los esquemas de flujo que siguen los efluentes inyectados en pozos de absorción en las plantas de tratamiento de aguas residuales Saastun-Ja y Gonzalo Guerrero de Playa del Carmen, Q. Roo. |
| TH1317.3 Estudio de factibilidad de la remediación del acuífero Cuautitlán-Pachuca, localmente contaminado por cromo en la zona de Lechería, municipio de Tultitlán, Estado de México. |
| TH1322.3 Caracterización del cauce en los ríos Carrizal y Sierra en las cercanías de las obras de toma (Isla 1, Isla 2, Villahermosa y Parrillas) para |

| |
|---|
| localizar sitios potenciales para la construcción de obras de captación subterránea, municipio Centro Tabasco. |
| TH1323.3 Estudio de alternativas de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Frontera, municipio de Centla, Tabasco. |
| HC1322.3 Proyecto ejecutivo de las acciones complementarias para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano en la comunidad rural de Coajomulco, Huitzilac, Morelos. |
| HC1323.3 Proyecto ejecutivo para las acciones complementarias para el abastecimiento de agua mediante captación de agua de lluvia en Villa Nicolás Zapata, Tlalnepantla, Morelos. |
| HC1324.3 Diagnóstico para el manejo integral del agua en trece localidades de los Altos de Morelos. |
| HC1245.3 Supervisión de las acciones de modernización del área comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua. |
| HC1249.3 Diagnóstico simplificado de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado en las cabeceras municipales de Othón P. Blanco (Chetumal), Solidaridad (Playa del Carmen), Cozumel (Cozumel, Tulum (Tulum). |
| HC1311.2 Análisis del costo por metro cúbico en conductos a presión de gran tamaño en México. |
| HC1313.3 Diagnóstico de planeación integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Valle de Bravo, Estado de México. |
| HC1314.3 Estudio simplificado de la situación de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Guachochi, Chihuahua. |
| HC1315.3 Estudio simplificado de la situación de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Camargo, Chihuahua. |
| HC1317.3 Estudio simplificado de la situación de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Jiménez, Chihuahua. |
| HC1321.3 Revisión técnica de proyectos ejecutivos, diagnóstico para la rehabilitación de una planta de ósmosis inversa, y muestreo de fuentes para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Chilpancingo, municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. |
| HC1325.3 Proyecto ejecutivo para el abastecimiento de agua en Santa Catarina, Tepoztlán, Morelos. |
| HC1326.3 Proyecto Ejecutivo para el abastecimiento de agua en Totolapan, Totolapan, Morelos. |
| HC1327.3 Proyecto ejecutivo para el abastecimiento de agua en Hueyapan (San Andrés Hueyapan), Tetela del Volcán, Morelos. |
| HC1330.3 Estudio simplificado de la situación de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Aldama, Chihuahua. |
| HC1331.3 Diagnóstico técnico y financiero del sistema de saneamiento de Valle de Bravo, Estado de México. |

| |
|---|
| HC1332.3 Supervisión de las acciones de modernización del área comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Hidalgo de Parral, Chihuahua. |
| HC1333.4 Diagnóstico integral de planeación y modelación hidráulica en tres ciudades (Mérida, Campeche y Cancún). |
| HC1334.6 Modelación y diseño de redes de agua potable con demanda estocástica integrados con sistema de información geográfica. |
| HC1335.3 Estudio para la integración de un organismo operador intermunicipal de agua potable en Tequesquitengo, Morelos. |
| HC1337.3 La revisión, diagnóstico, actualización técnica y modernización de la primera etapa del manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS) y las normas técnicas complementarias, así como la documentación y elaboración de libros adicionales. |
| HC1338.3 Estudio de análisis de las reglas de operación para los programas de infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento a cargo de la Comisión Nacional del Agua. |
| HC1342.3 Estudio de alternativas de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Frontera, municipio de Centla, Tabasco. |
| HC1345.3 Continuidad del proyecto de restauración de la zona lacustre y chinampera de Xochimilco y Tláhuac. |
| HC1346.3 Diagnóstico técnico y operativo de estaciones de medición y control existentes instaladas en pozos, tanques, plantas de bombeo y rebombeo en la red de conducción y distribución de agua potable de la Ciudad de México. |
| HC1347.3 Programa de mantenimiento y protección de: seis medidores volumétricos en el Distrito de Riego 041 Río Yaqui y, de dos medidores volumétricos en el Distrito de Riego 018 Colonias Yaquis. |
| HC1348.3 Elaboración del diagnóstico y proyecto ejecutivo de modernización del área comercial del organismo operador de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio de Naucalpan, Estado de México |
| HC1349.3 Estudio y proyecto para el cárcamo tecnológico de la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca |
| HC1350.3 Estudio y proyecto del río San Felipe y Blanco en la ciudad de Oaxaca (tributario del río Salado y de la subcuenca del río Atoyac). |
| HC1351.3 Estudio tarifario del sistema municipal de agua potable y alcantarillado de Campeche, Campeche. |
| HC1352.3 Elaboración del diagnóstico y proyecto ejecutivo de modernización del área comercial del organismo público descentralizado Sistema Aguas de Huixquilucan, Estado de México. |
| HC1353.3 Elaboración del diagnóstico y proyecto ejecutivo de modernización del área comercial del organismo operador municipal del sistema de agua potable, alcantarillado de Loreto, Baja California Sur. |

| |
|--|
| HC1354.3 Elaboración del diagnóstico y proyecto ejecutivo de modernización del área comercial del organismo operador municipal del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Los Cabos, Baja California Sur. |
| HC1355.3 Actualización del Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco y lago de Tequesquitengo (Parte I). |
| HC1356.3 Plan maestro de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Morelia, Michoacán. |
| DP1345.3 Procesos de planificación y políticas para formular el Programa Nacional Hídrico 2013-2018. |
| Agua suficiente para garantizar la seguridad alimentaria y convertirla en un elemento que ayude a combatir la pobreza y lograr un México sin hambre |
| RD1308.1 Adaptación y transferencia de tecnología para medición en pozos de bombeo en zonas agrícolas. |
| RD1309.1 Validación de tecnología para el uso de aguas residuales en la agricultura. |
| RD1311.1 Manual de operación y mantenimiento de redes entubadas de riego. |
| RD1313.1 Utilización eficiente del agua de lluvia mediante el diseño y trazo hidrológico de terrenos en áreas de precipitación limitada. |
| RD1314.1 Tecnologías de riego parcelario para reducción de volúmenes de agua e incremento de la productividad del agua. |
| RD1315.1 Tecnología de agricultura urbana para producción de alimentos. |
| RD1220.3 Actualización del plan director para la modernización integral del módulo de riego I Valle de Banderas, II margen izquierda del río Santiago, III margen derecha del río Santiago y IV margen derecha del río San Pedro del distrito de riego 043, estado de Nayarit. |
| RD1321.3 Integración de estadísticas agrícolas e hidrométricas de los distritos de riego de la república mexicana y cursos de capacitación. |
| RD1322.3 Programa para la conservación y manejo sustentable de la subcuenca Tejalpa, en la porción del Nevado de Toluca. |
| RD1323.3 Localización geográfica y caracterización de unidades de riego con diferente tipo de fuente de abastecimiento, cobertura 24,285 hectáreas en el estado de Zacatecas. |
| RD1324.3 Actualización del proyecto ejecutivo de Sobreelevación del Canal Principal Humaya y Presa Derivadora Andrew Weiss, en el estado de Sinaloa (Primera etapa). |
| RD1325.3 Pruebas de eficiencias electromecánicas en 250 equipos de bombeo de pozos agrícolas en el estado de Zacatecas. |
| RD1327.3 Elaboración y publicación de las estadísticas agrícolas de las unidades de riego para el año agrícola 2011-2012, a nivel nacional. |
| RD1328.3 Recopilación e integración de la estadística agrícola del año 2012 de los 23 distritos de temporal tecnificado a nivel nacional. |

| |
|---|
| RD1329.3 Estudio de erosión hídrica y de producción de sedimentos en la cuenca del río Atoyac, Oaxaca. |
| RD1331.3 Asesoría para la supervisión de la entrega volumétrica a una sección del módulo de riego I-1Bamoá del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2013-2014. |
| RD1332.3 Asesoría para la supervisión de la entrega volumétrica a una sección del módulo de riego II-2 Tetameche del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2013-2014. |
| RD1229.3 Plan de acciones para el uso sustentable del agua de riego y el incremento de la productividad del módulo. |
| RD1232.3 Desarrollo y transferencia de tecnología propia para la operación del módulo Santa Rosa del DR. 075, Valle del Fuerte Sinaloa. |
| RD1237.3 Estudio de factibilidad técnica y económica del canal Nayarit |
| RD1238.3 Desarrollo de un portafolio priorizado de medidas de adaptación públicas, identificadas para el sector agrícola. |
| RD1239.3 Tecnologías para la conservación de suelo y agua en palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i>) en producción. |
| RD1241.3 Elaboración del Plan de manejo para la protección y rehabilitación en forma sustentable de los principales manantiales de la cuenca del río Mololoa y Caracterización del medio biofísico de la cuenca propia de la laguna de Santa María del Oro. |
| RD1320.3 Revisión agronómica, hidráulica y electromecánica de 15 pozos para riego e integración de un proyecto ejecutivo de un sistema de riego presurizado en 520 hectáreas con al menos un cultivo, en terrenos de uso común del ejido Los Divorciados, municipio de Bacalar, Quintana Roo. |
| DP1334.3 6,600 Verificaciones de aprovechamientos en zonas vedadas, reglamentadas o en reserva, así como de bienes nacionales administrados por la Conagua. |
| El agua en México como uno de los motores que impulse sostenidamente el desarrollo económico y social |
| CA1301.4 Sesión internacional de la X reunión del Programa Hidrológico Internacional sección América Latina y Caribe (PHI-LAC). |
| CP1302.1 Aplicación de tecnologías de información y comunicación. |
| CP1303.1 Actividades de la Cátedra UNESCO-IMTA, <i>El Agua en la Sociedad del Conocimiento</i> , en 2013. |
| CP1304.1 Producción Audiovisual. |
| CP1305.1 Revista de divulgación <i>Agua Simple</i> . |
| CP1306.1 Programa Editorial del IMTA. |
| CP1307.1 Diseño y producción gráfica del IMTA. |
| CP1308.1 Operación del auditorio del IMTA José Antonio Maza Álvarez. |
| CP1309.1 Edición de la revista <i>Tecnología y Ciencias del Agua</i> . |

| |
|--|
| CP1311.1 Servicios de información del Cenca. |
| CP1312.1 Mantenimiento del Repositorio institucional del IMTA. |
| CP1314.1 Facilidades y barreras sociales para el ejercicio del derecho humano al agua en México. |
| CP1315.1 Metodología de evaluación de tecnologías apropiadas. |
| CP1240.2 Producción de materiales de difusión y desarrollo de capacidades en materia de participación social en torno al agua en el estado de Durango. |
| CP1329.3 Producción y difusión de materiales didácticos relacionados con el funcionamiento de los distritos de riego durante 2013. |
| DP1310.1 Programas de posgrado del IMTA. |
| DP1311.1 Operación de los centros de capacitación del IMTA: Jiutepec, Morelos y San Roque, Nuevo León. |
| DP1313.1 Programa de educación continua presencial y a distancia del IMTA. |
| DP1320.1 Producción e impresión de material didáctico y libros de divulgación para educación ambiental y cultura del agua y generación de una metodología de evaluación del impacto de los procesos de educación y cultura del agua. |
| DP1330.1 Certificación de competencia laboral en el sector agua. |
| DP1340.1 Precio de agua. |
| DP1301.1 Posgrado conjunto IMTA-UNAM. |
| DP1304.3 Servicios integrales para el "Cierre del Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua 2013". |
| DP1316.3 Diseño e impartición de los cursos técnicos hídricos 2013, para la formación de los servidores públicos de la Comisión Nacional del Agua, a nivel nacional y nivel regional hidrológico administrativo. |
| RD1307.1 Validación del uso de energía renovable para su aplicación en el subsector agrícola. |
| RD1312.1 Evaluación de impactos ambientales de tecnologías conservacionistas utilizando el método de cuencas pareadas. |
| TC1304.1 Modelación hidráulica y de transferencia de masa de reactores de electrocoagulación. |
| TC1308.1 Operación y mantenimiento del sistema acuícola con reúso de agua residual tratada y descarga cero. |
| TC1309.1 Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria tequilera. |
| TC1314.1 Generación de energía eléctrica partir del tratamiento de aguas residuales por medio de bioceldas. |
| TC1041.5 Recuperación de purgas provenientes de torres de enfriamiento, sistemas de generación de vapor y UDAS, propuesta para Pemex Gas. |
| TH0534.6 Maestría y doctorado en hidrometeorología y meteorología operativa del posgrado en ciencias del agua (etapa 4 de 8, 3 ^{ra} generación). |
| TH1321.3 Organización del <i>Cuarto Seminario Internacional de Potamología</i> |

| |
|--|
| <i>José Antonio Maza Álvarez.</i> |
| DP0520.6 Maestría y doctorado en gestión integral del agua en cuencas y acuíferos del posgrado en ciencias y tecnología del agua. |
| DP1343.3 Desarrollo tecnológico o metodología e implementación para la atención de solicitudes de trámite hasta su inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua. |
| DP1322.3 Talleres de actualización y certificación para el personal de los Espacios de Cultura del Agua y multimedia de una cuenca hidrológica del estado de Durango. |
| DP1323.3 Capacitación para los espacios de cultura del agua de la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Guerrero. |
| DP1324.3 Cursos de actualización para el personal de los espacios de cultura del agua del estado de Tabasco. |
| DP1325.3 Aprovechamiento responsable y tratamiento de agua. |
| DP1326.3 Cursos de actualización para el personal de los espacios de cultura del agua del estado de Morelos. |
| DP1333.3 Atención de usuarios en la solicitud de servicios en entidades administradoras del agua. |
| DP1234.3 Programa de capacitación con base en estándares de competencia laboral para la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa. |
| Seguridad hídrica de México y vulnerabilidad de la sociedad y su patrimonio ante el cambio climático |
| CP1313.1 Estudio sobre vulnerabilidad social y adaptación al cambio climático. |
| CP1326.3 Programa de comunicación de riesgos frente a inundaciones e información de los programas regionales de prevención contra contingencias hídricas. |
| DP1342.1 Analizar la vulnerabilidad y evaluar los costos del cambio climático en Organismos Operadores de Agua Potable y Alcantarillado (OOAPAS). |
| DP1315.3 Servicio de apoyo a las actividades de hidrometeorología en el Centro Nacional de Previsión del Tiempo del Servicio Meteorológico Nacional. |
| HC1307.1 Análisis y diseño numérico y experimental de bocas de tormenta para el desalojo de aguas pluviales. |
| HC1310.1 Red de institutos nacionales iberoamericanos de ingeniería e investigación hidráulica (RINIHH). |
| HC1312.1 Obras y sistemas de seguridad en presas y bordos. |
| RD1310.1 Seguimiento al impacto del cambio climático en el ensalitramiento de los suelos en un módulo de riego. |
| TC1303.1 Evaluación de diferentes procesos de tratamiento para la remoción de colorantes sintéticos utilizados en la industria textil (Segunda parte). |
| TC1323.1 Estrategia para la aplicación de la norma de caudal ambiental hacia un enfoque adaptativo al cambio climático, así como implementar la NMX-AA-159-SCFI-2012 para su difusión en el área focal de ecohidrología. |

| |
|--|
| TH1302.1 Sistema de resúmenes estadísticos climáticos de regiones definidas en la República Mexicana. |
| TH1303.1 Predicción de los cambios en las curvas de las frecuencias de inundación debido al cambio climático. |
| TH1304.1 Espectroscopía láser aplicada al análisis de isótopos estables de hidrógeno y oxígeno en muestras de agua natural. Su empleo en el acuífero de la Comarca Lagunera y el acuífero profundo del Valle de México. |
| TH1305.1 Estimación de la reducción del agua subterránea mediante el uso de satélites. |
| TH1306.1 Desarrollo de una plataforma computacional que incluya la información sobre medidas de adaptación en el sector hídrico. |
| TH1307.1 Programa Hidrológico Internacional. |
| TH1308.1 Estudio de persistencia de la sequía en el norte y centro de México. |
| TH1309.1 Revisión de seguridad hidrológica de diez presas críticas de México. Diseño de avenidas y capacidad de vertedores. |
| TH1325.1 Análisis de metodologías para monitorear y estimar escenarios de la ocurrencia de sequías a corto, mediano y largo plazos para México. |
| CP1128.6 Vulnerabilidad social y construcción de capacidades para la adaptación al cambio climático. Una propuesta con enfoque de género en Yucatán. |
| CP1321.3 Mantenimiento del sitio web de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. |
| CE1101.9 Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático. |
| TC1325.3 Integración de la Manifestación de Impacto Ambiental de la P.H. El Pescado, en el río Balsas, |
| TH1209.7 Participación del IMTA en el desarrollo del proyecto actualización de escenarios de cambio climático para México, como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional. |
| TH1214.7 Posibles Impactos de Cambio Climático en la disponibilidad de agua en México. |
| TH1225.4 Sistema de registro de datos climatológicos en el estado de Morelos (2012-2013). |
| TH1226.4 Capacitación de técnicos en la operación de redes agrometeorológicas e implementación de un protocolo de gestión de calidad (2012-2013). |
| TH1318.3 Servicios especializados en el desarrollo de herramientas de meteorología operativa. |
| TH1319.3 Formulación de guía para elaborar programas para afrontar sequías, supervisión de su formulación, capacitación en el uso de la guía, edición técnica de los programas y elaboración de los programas de sequías para los consejos de cuenca del río Bravo y río Balsas. |

| |
|---|
| TH1320.3 Servicios de mantenimiento correctivo a la Red de Estaciones Meteorológicas del IMT. |
| TH1316.3 Estudio geohidrológico de los acuíferos El Hundido (0506) y La Paila (0509), en el estado de Coahuila. |
| TH1313.3 Programas de prevención contra contingencias hidráulicas para los trece organismos de cuenca de la Conagua. |
| TH1326.3 Visita de inspección y dictamen técnico del estado que guarda la infraestructura de protección a centros de población y áreas productivas en el estado de Durango, en los municipios de Durango, Poanas y Nuevo Ideal. |
| TH1327.3 Estudio de Plan de manejo Integrado del acuífero Valle de Mexicali, en el estado de Baja California, y el Estudio de Plan de manejo integrado del acuífero Valle de San Luis Río Colorado, en los estados de Baja California y Sonora. |
| TH1328.3 Visita de inspección y dictamen técnico del estado que guarda la infraestructura de protección a centros de población y áreas productivas en el estado de Baja California Sur, en el municipio de La Paz. |
| TH1329.3 Proyecto de coordinación, seguimiento, supervisión, integración y análisis del programa de medidas para prevenir y enfrentar la sequía (Etapa 1 de 6): Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de las Sequías (PMPMS). |
| TH1330.3 Elaboración de una propuesta para el control de cargas de nutrientes en el área de influencia del proyecto de la presa y sistema de bombeo Purgatorio-Arcediano. |
| TH1330.3 Sistema de registro de datos climatológicos en el estado de Morelos (2013-2014). |
| TH1332.6 Plan de medidas preventivas y de mitigación de la sequía en la cuenca del río Balsas. |
| TH1333.6 Modelación numérica de la circulación de la bahía de Todos Santos, B.C., México. |
| HC1232.4 Sistemas de información para incentivar el cobro-pago del Agua. |
| HC1233.6 Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana. |
| HC1318.3 Supervisión y proyectos para el mejoramiento de la medición en infraestructura hidroagrícola en obras de toma de presas de almacenamiento, canales y pozos agrícolas en diversos distritos de riego. |
| HC1319.3 Proyecto ejecutivo para el mejoramiento de la medición en infraestructura hidroagrícola en obras de toma de presas de almacenamiento, canales y pozos agrícolas en diversos distritos de riego. |
| HC1320.3 Estudios de medición y control, mediante la evaluación de la instrumentación instalada para el monitoreo estructural en 12 presas de utilidad hidroagrícola 2013. |
| HC1328.4 Coordinación Técnica del Programa para la Recuperación Ambiental |

| |
|--|
| de la Península de Yucatán. |
| HC1329.3 Proyecto ejecutivo y apoyo técnico en la gestión de recursos para la estabilización del suelo y prevención de falla estructural en la unión rampa y túnel del vado de Atemajac, ubicado en la línea 1 del tren eléctrico urbano, en Guadalajara, estado de Jalisco. |
| HC1336.3 Estudios para la caracterización y diagnóstico de la seguridad de 8 presas en los estados de México, Oaxaca y Guerrero, clasificadas con alto riesgo. |
| HC1339.3 51 Inspecciones de seguridad de presas en el Organismo de Cuenca Balsas, año 2013. |
| HC1340.3 Estudio de factibilidad para el plan preventivo de contingencias hidrológicas en la cuenca del Papaloapan en varias localidades y municipios del estado de Veracruz. |
| HC1344.3 Mantenimiento correctivo y caracterización de molinetes. |
| DP1317.3 Rehabilitación y actualización del manual de costos estimados para proyectos de infraestructura hidráulica. |
| DP1344.1 Entidad Nacional Implementadora del Fondo de Adaptación al Cambio Climático en México. |