

5.1. Informe de resultados

**CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA
PARA LA GESTIÓN
SUSTENTABLE DEL AGUA**

INFORME DE RESULTADOS
Primer Semestre
2015

Instituto Mexicano
de Tecnología del Agua

CONTENIDO

Presentación

Principales Resultados

- 1 Investigación, desarrollo tecnológico e innovación
- 2 Asesoría y servicios tecnológicos
- 3 Formación de recursos humanos
- 4 Promoción y difusión del conocimiento
- 5 Cooperación técnica internacional
- 6 Otras actividades relevantes
- 7 Premios y distinciones

Anexos

- 1 Patentes
- 2 Vinculación con Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico
- 3 Catálogo de Proyectos en desarrollo durante 2015 (junio)
- 4 Proyectos Conacyt

PRESENTACIÓN

PRINCIPALES RESULTADOS

1. INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN

- *Dispositivo para desazolve en presas (primera etapa): Modelación experimental y simulación numérica*

HC1511.1

La vida útil de las obras hidráulicas, como el caso de las presas, se ve reducida drásticamente ante la falta de un plan de manejo de los sedimentos en la cuenca de escurrimiento. La remoción de sedimentos mediante el dragado es una técnica utilizada para recuperar la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, dicha actividad puede verse limitada por los costos asociados. Se requiere contar con métodos alternos para el desazolve de las presas de nuestro país, y así incrementar su vida operativa y funcional.

Para combatir estos problemas en nuestro país, se optó por investigar un método o forma para el desazolve en presas y embalses, por lo cual se pensó en un dispositivo aireador, el cual se utiliza para airear el agua en zonas pantanosas o en lugares donde el fluido no circula. También se utiliza para formar grumos o flóculos en el agua en plantas de tratamiento de aguas residuales o en plantas de agua potable. Con este tipo de instrumento, se piensa en crear un dispositivo para desazolve de las presas.

Se evalúa la factibilidad de construcción, se detallan las especificaciones del mismo, se realiza un diseño detallado y se construye un prototipo para llevar a cabo pruebas en el laboratorio IMTALAB, ya que es importante encontrar sus limitaciones o el alcance máximo al aplicarse en campo, así como su costo de operación.

Hasta el momento, se han realizado tres prototipos con diferentes geometrías, de las cuales se han obtenido resultados, gráficas y nuevos diseños. También, se efectúan pruebas en laboratorio y se construye un modelo físico de tamaño más grande para la elaboración de dichas pruebas. Se ha recopilado información asociada para desarrollar este dispositivo, y se han revisado métodos y equipos de dragado existentes para el desazolve en presas y las técnicas que para su elaboración.

Resultados principales:

La mayoría de los cuerpos de agua en nuestro país se encuentran azolvados, incluyendo pequeñas represas, presas medianas y grandes, situación que los coloca en riesgo de no seguir utilizándolos. El llegar a plantear un método alternativo económico que ayude a incrementar su vida útil o de operación será de alto impacto social, económico y tecnológico.



Prototipo en funcionamiento.

- *Desarrollo de instrumentación y procedimientos de medición aplicados a la observación en campo, que ayuden a controlar o supervisar la situación de seguridad estructural de obras hidráulicas*
HC1514.1

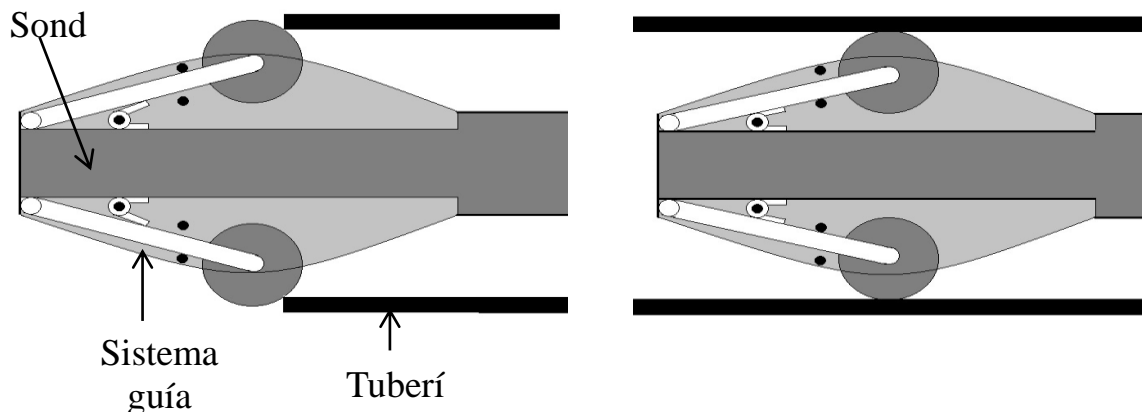
En México, en la mayoría de los casos, la instrumentación se lleva a cabo a partir de equipos especializados existentes en el mercado. A estos equipos, normalmente importados a altos costos, se les suman las desventajas que implica la importación de tecnología.

Por encargo de la Conagua, el IMTA ha trabajado en proyectos relativos a la seguridad de presas. La experiencia lograda permite considerar valioso el desarrollo de equipos de medición con tecnología propia. Por otro lado, es bien sabido que los estudios y datos de campo son básicos para la construcción de una estructura hidráulica como las de tierra y enrocamiento, y que los procedimientos constructivos tienen mucho que ver con el comportamiento seguro de toda obra hidráulica, ya sea una presa o un bordo, y que no es menos importante el mantenimiento de las obras durante su vida útil, por lo que una inspección metódica se hace más que necesaria. Así, contar con instrumentos de fácil operación y que cuenten con soporte técnico y a la mano, posibilitará obtener la información requerida para tomar decisiones oportunas que eviten riesgos innecesarios en las obras hidráulicas.

En este semestre, los avances obtenidos son: mejora funcional del dispositivo para medición de longitudes de cable de suspensión, nivel electrónico para conjunto prisma-baliza, sistema o metodología de calibración de la verticalidad de prismas topográficos, un inclinómetro triaxial sin guías y su posible solicitud de patente, y un documento manual de procedimiento de medición para testigos superficiales.

Resultados principales:

Es importante seguir con investigaciones y desarrollo de tecnologías que deriven en patentes registradas y comercializables. Los desarrollos instrumentales y su mejora continua, así como los nuevos procedimientos de medición generados, podrán ser aprovechados por las entidades encargadas de la supervisión de la seguridad estructural de presas y bordos, y por las estaciones hidrométricas y climatológicas, con lo cual es posible prevenir cualquier tipo de riesgo estructural.



**Sistema guía de centrado del inclinómetro de prueba: diseño conceptual.
Alternativa 1.**

- *Manual de solicitaciones y criterios de diseño para obras hidráulicas*
HC-1513.1

El diseño de una obra hidráulica debe ofrecer una seguridad apropiada contra cualquier modo de falla ante las combinaciones de acciones máximas que pudieran presentarse durante su vida útil, así como un funcionamiento adecuado ante las combinaciones de acciones de servicio que se presentan en condiciones normales de operación.

Los textos que existen en la literatura para análisis y diseño de obras hidráulicas son dispersos y muy variados en cuanto a métodos de análisis y enfoques de diseño. Para el desarrollo de proyectos del sector hidráulico, se requiere, sin embargo, de especificaciones técnicas por parte del organismo responsable del proyecto, para que en el diseño de las estructuras efectivamente se considere el efecto combinado de las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir en forma simultánea.

Dichas especificaciones deben contener los criterios de diseño y las acciones a considerar, así como los estudios requeridos y métodos de análisis para determinar estas últimas. Esta información es útil no sólo para los diseñadores del proyecto, sino también para los funcionarios responsables de la revisión y aprobación del mismo.

Se ha definido el contenido general del manual, que incluye los siguientes temas: acciones permanentes (cargas muertas, empujes estáticos de tierras y empujes estáticos de líquidos); acciones variables (cargas vivas, vaciado rápido, presiones de líquidos en movimientos, hundimientos del terreno y vibraciones de maquinaria); acciones accidentales (avenidas, sismo, viento y explosiones); criterios de diseño para obras civiles relevantes del sector agua y la industria en general (túneles y tuberías, presas, depósitos y tanques, muros de contención, lumbreras y cimentaciones para maquinaria); efectos de acciones y determinación de intensidades (influencia de las condiciones locales del subsuelo, vibraciones de líquidos en tanques, presiones hidrodinámicas en presas, empujes estáticos y dinámicos del suelo sobre muros de retención, presiones estáticas y dinámicas del suelo sobre lumbreras, concentraciones estáticas y dinámicas de esfuerzos en túneles, vibraciones de cimentaciones de maquinaria y efectos de subsidencia por extracción de agua), entre otros.

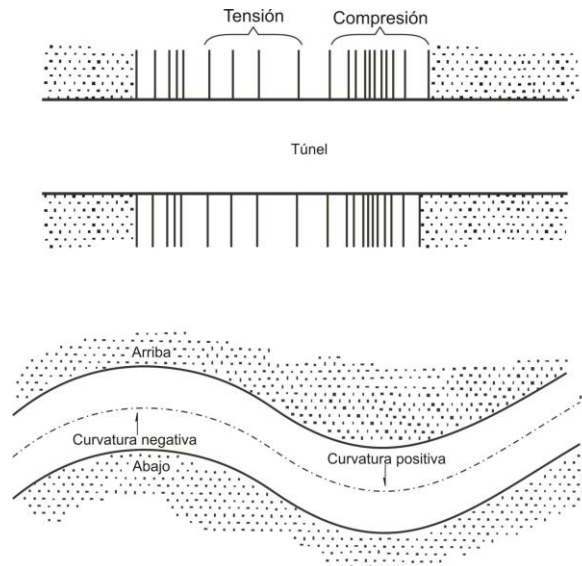
También, se han definido los principales tipos de acciones y la forma general de combinarlas; se ha elaborado una metodología para determinar los parámetros sísmicos de diseño como espectros de respuesta sin y con efectos de sitio, acelerogramas sintéticos, magnitudes y duraciones máximas, etc., y se han desarrollado criterios de diseño geotécnico y estructural para túneles y tuberías, depósitos superficiales, tanques elevados y muros de contención.

Resultados principales:

Implementación de metodologías actualizadas para el análisis y diseño de obras hidráulicas relevantes.

Selección de estudios de campo requeridos para la caracterización estática y dinámica del tipo de suelo de cimentación.

Simplificación y automatización de los procesos de cálculo, mediante programas de cómputo, hojas de cálculo, diagramas normalizados, etcétera.



Efecto del paso de ondas a lo largo del eje de un túnel.

- *Modelación de pozos radiales*
TH1502.1

Los pozos radiales se utilizan como fuentes de abastecimiento a poblaciones ubicadas en las cercanías de cuerpos de agua superficiales contaminadas o con grandes cargas de sedimentos. Los pozos extraen agua del acuífero y luego inducen que el agua superficial se infiltre al subsuelo y se extraiga posteriormente mediante los pozos. Los contaminantes y sedimentos presentes en el agua superficial son retenidos en los sedimentos del subsuelo, por lo que el agua que se extrae es de mucha mejor calidad.

Lo anterior depende de la granulometría del subsuelo, calidad del agua superficial y subterránea, espesor de los estratos geológicos, profundidad al nivel freático, tirante de agua en el cuerpo de agua superficial, entre otras variables. El proyecto tiene la finalidad de investigar la interacción entre los pozos radiales y un sistema acuífero-río, utilizando modelos analíticos y numéricos del flujo del agua subterránea.

En el primer semestre del 2015 se programaron cinco actividades y se reportan los siguientes avances: 1) concluyó el estado del arte, enfocándose en la definición del modelo conceptual del sistema río-acuífero, soluciones analíticas y casos de modelos numéricos para pozos radiales, 2) se implementó la ecuación analítica para determinar el descenso del nivel freático en pozos radiales, 3) se elaboran las secciones estratigráficas del pozo radial Isla 1, 4) se diseña la malla del modelo de Isla 1, y 5) se integran los datos geohidrológicos en el modelo.

Resultados principales:

La implementación de los pozos radiales permite un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales, ya que el agua extraída por estas obras subterráneas presenta menor cantidad de sólidos suspendidos, reducción y eliminación de organismos patógenos, estabilidad en los parámetros físicos y químicos que reducen el costo en el tratamiento al momento de su potabilización, así como una garantía en el volumen de extracción sin importar los tirantes de agua que mantiene el río, laguna, lago o cuerpo de agua por el que se abastece el pozos radial.

Los pozos radiales se componen de una estructura central y pozos laterales. Su diseño es tema de investigación, por lo cual el IMTA mantiene un proyecto con el objetivo de calcular los abatimientos del nivel freático bajo la influencia de un pozo radial.

Tabla 1. Ingresar la información básica del acuífero				Tabla 2. Ingresar los tiempos de observación		Tabla 3. Ingresar el radio de los pozos de observación		Tabla 4. Ingresar el caudal de extracción de cada uno de los pozos		Tabla 5. Ingresar coordenadas UTM de las posiciones de los pozos	
Símbolo	Nombre	unidades	Valor	Tiempos	t, d	distancias	r, m	# Pozos	Q, m ³ /s	x	y
S	Coefficiente de almacenamiento	L/L	2.00E-04	1	0.0416667	1	1	1	2400	121,000	2,587,715
k	Conductividad hidráulica	m/d	50	2	1	2	10	2	2400	122,050	2,587,735
b	Espesor del acuífero	m	10	3	2	3	50	3	2400	124,055	2,587,761
T	Trasmisividad	m ² /d	500	4	3	4	100	4			
Q	Descarga total del pozo	m ³ /d		5		5	200	5			
u	Función de tiempo adimensional	T/T		6		6		6			
r	Distancia de observación	m		7		7		7			
t	Tiempo desde que inició la descarga	d		8		8		8			
s	Descenso del NF de un punto situado a una distancia r	m		9		9		9			
				10		10		10			
				11		11		11			
				12		12		12			
				13		13		13			
				14		14		14			
				15		15		15			
				16		16		16			
				17		17		17			
				18		18		18			
				19							
				20							

Tabla 6. Seleccionar de ecuación para calcular u	
Teclear en la celda amarilla el número	3
correspondiente a la siguiente condición:	
1	Sí se desea utilizar la ecuación (4) de Cooper para u<0.01
2	Sí se desea utilizar la ecuación (6) de Swamee et al. (1990) y Barry et al. (2000) para u>0
3	Sí se desea utilizar la ecuación (7) de Swamee et al. (1990) y Barry et al. (2000) para u en todo el dominio

Hoja de cálculo para estimar el descenso del nivel freático y piezométrico en pozos de prueba y piezómetros.

- Escalamiento de las lecturas de gravedad GRACE y su aplicación en el cálculo de variables geohidrológicas

TH1503.1

En 2013 se implementó la técnica que determina la variación del volumen de agua del subsuelo, utilizando la información del experimento de clima y recuperación de gravedad (*Gravity Recovery and Climate Experiment*, GRACE) y datos de superficie de la Tierra conocidos como *North Land Data Assimilation Systems* (NLDAS). El desarrollo contempló el diseño de un visor que facilitó la selección de los datos de GRACE y NLDAS de forma interactiva en la zona norte de América. Los resultados se aplicaron en Baja California (acuífero Mexicali, BC, y Vizcaíno, BCS), determinando series de tiempo que muestran un descenso en el nivel piezométrico del acuífero (Mexicali) y una estabilización del nivel estático (acuífero Vizcaíno). Las recomendaciones resaltan que la técnica es aplicable para cuencas mayores de 250 000 km², lo que limita su utilización.

Tomando como base esta experiencia, se continuó desarrollando el visor de datos agregando la base *Global Land Data Assimilation Systems* (GLDAS), permitiendo un acceso a datos alrededor del mundo; asimismo, se integró una subrutina (al visor) para calcular estadísticos (media, moda, mediana, desviación estándar, mínimo, máximo, curtosis) a las bases de GRACE, NLDAS y GLDAS. La resolución de los datos de GRACE continúa siendo la limitante de la técnica, por lo que se determinó trazar una ruta de desarrollo para reducir la escala espacial.

En 2015 se plantea desarrollar la técnica de filtrado que permita reducir la escala espacial a 300 km, utilizando una técnica que consiste en separar la componente sesgada y de filtración, de los datos nivel 2 de GRACE, utilizando los esféricos armónicos de 60 grados y órdenes para reducir el ruido e incrementar la resolución en el escalamiento. Se propone trabajar con los armónicos esféricos de la serie 2 de GRACE.

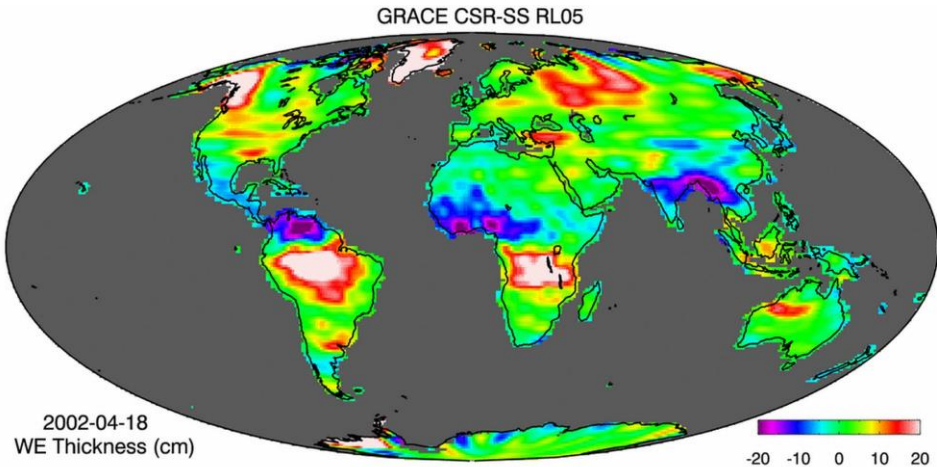
Los primeros meses los trabajos se centraron en dos actividades: 1) recopilación y análisis de información, y 2) homogenización de los archivos serie 2 de GRACE. Se seleccionaron 25 artículos científicos para estructurar el estado del arte, específicamente en el tema de las bases de datos serie 2 de GRACE, que comprende posprocesamiento de datos, especificaciones de los archivos serie 2, correcciones de los datos, armónicos esféricos, aplicación de la tecnología en proyectos de geohidrología y técnicas de filtrado para reducir la escala de estimación.

El estado del arte permitió elegir la técnica que consiste en seleccionar la función de cuenca. Durante el desarrollo del proyecto, se experimentará para realizar adecuaciones e implementaciones requeridas en el filtrado que será aplicado para el escalamiento-cuenca.

En cuanto a la homogenización de los archivos serie 2 de los armónicos esféricos, se iniciaron los trabajos de búsqueda y adecuación que consiste en la exploración de los formatos en que se encuentran los archivos y la adecuación de los mismos, para integrarlos en el visor (sistema ya desarrollado en el IMTA). Se tiene programado trabajar con los archivos de la serie 2, generados por tres laboratorios distintos (CSR, GFZ, JPL), mismos que serán procesados y almacenados en el sistema visor (del IMTA), para que en el segundo semestre del 2015 se procesen con la técnica escalamiento-cuenca.

Resultados principales:

La técnica GRACE se utiliza para estimar la variación del volumen de agua en los acuíferos del mundo. En 2015 se desarrolla la técnica de filtrado que permitirá reducir la escala espacial a 300 km, con el objetivo de aplicarse en acuíferos de México para ofrecer una tecnología alternativa en la estimación del almacenamiento subterráneo en cuencas donde no existe información, así como determinar la disponibilidad de agua del subsuelo.



Datos de gravedad editados por el Center for Space Research at University of Texas, Austin (CSR), para abril de 2002.

- *Recuperación de fósforo mediante remoción con adsorbente y recuperación de fósforo inorgánico*
TH1505.1

El presente proyecto se propuso como una consecuencia de los trabajos desarrollados para CEA Jalisco, donde se encontró que 95% de las emisiones de fósforo (P) provienen de actividades pecuarias en la cuenca hidrológica del río Verde. Aunado a otras acciones, para proteger a los cuerpos de agua, se debe reusar al menos 24% de estas emisiones en Jalisco. Por ello, se ha visto la necesidad de reciclar el P que actualmente se descarga a la red del río después del tratamiento. La seguridad global hídrica y alimentaria depende del manejo sostenible de nutrientes como nitrógeno (N) y P, y la cuenca hidrológica representa una escala ideal para proponer soluciones para su manejo y control.

Las reservas de P se están agotando y tendrán que ser reemplazados mediante su recuperación, que actualmente se pierde, causando problemas de eutroficación, crecimiento excesivo de plantas acuáticas, aspectos estéticos negativos, anoxia y problemas relacionados con la potabilización del agua. El P puede ser recuperado desde el sistema de producción y consumo de alimentos y reutilizado como fertilizante directamente o después de procesos intermedios. Esta es la primera etapa de un proyecto programado para tres años.

Se analizaron artículos científicos sobre adsorción de fósforo en hidróxidos de doble capa (HDC) y su posterior recuperación. Con base en datos de electronegatividad, constantes de equilibrio y datos de publicaciones científicas, se determinaron los iones que constituirán a los HDC. Estos se sintetizaron: bario-aluminio-cloruros, calcio-aluminio-cloruros y magnesio-aluminio-cloruros.

También, se evaluó la composición de efluentes de biodigestores de excreta porcina, reportados en la literatura, determinando la concentración promedio de iones mayores, pH y la conductividad eléctrica (CE).

Se concluyó la revisión de patentes relacionadas con la remoción de fósforo en agua empleando HDC seleccionados y su posterior recuperación, encontrando cuatro asociados con el proceso que se desarrolla, pero ninguno que aplique bario en la estructura de la hidrotalcita.

Se determinaron la velocidad de intercambio iónico de fósforo en HDC producidos, las isotermas de intercambio iónico de P en HDC y las constantes de acidez de los diferentes HDC sintetizados.

Resultados principales:

Actualmente el proyecto se encuentra en la fase de caracterización, pruebas y selección del HDC idóneo, por lo que aún no se tienen impactos sociales, económicos, científicos o tecnológicos. Sin embargo, se tiene planteado como uno de los resultados del proyecto la obtención de una patente.



Proceso de elaboración de los HDC.

- *Estimación de la humedad del suelo con base en imágenes de satélite*
TH1508.1

Para temas relacionados con las sequías en general, se requiere la elaboración de mapas con el contenido de humedad en el suelo. La banda espectral adecuada para ello es la visible, el infrarrojo cercano y las microondas. Es la apropiada por su observación sinóptica, que es la escala espacial que se persigue, y cuenta con una capacidad de observación hasta semanal (que es lo que se busca).

Las imágenes de radar, que tienen una resolución comparable a las del *Landsat TM* y *SPOT*, pueden penetrar satisfactoriamente las nubes e identificar muchos rasgos de llanuras inundables, tanto desde el espacio como desde altitudes suborbitales.

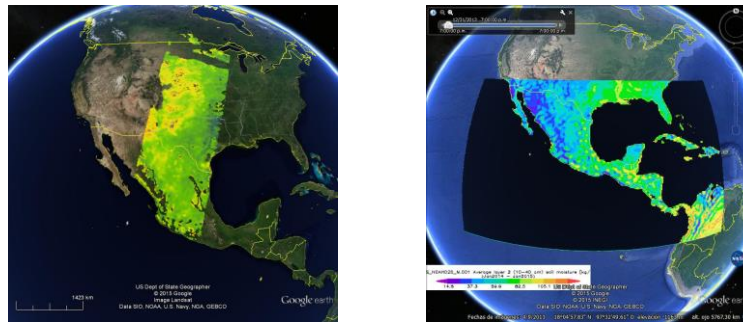
El proyecto busca revisar el estado de la ciencia en materia de estimación de humedad de suelo por satélite y determinar la factibilidad de la implementación de una metodología para su implementación en México para así brindar soporte metodológico en la elaboración del Monitor de Sequías en México.

Dentro de la planeación hídrica, es necesario contar con información confiable y oportuna sobre la variabilidad natural del medio ambiente. Entre ellos, el clima siempre manifiesta un comportamiento no uniforme y en algunas ocasiones llega a un comportamiento extremo.

Como resultados, se tiene: 1) una metodología que permita, en una segunda etapa, estimar la humedad de suelo mediante técnicas de percepción remota satelital, y 2) elaborar una de metodología de la "perspectiva de sequía".

Resultados principales:

El país no cuenta con una red de observación de humedad de suelo con suficientes puntos, tal que permita realizar balances hídricos con valores de una confianza aceptable. Este es un valor que se utiliza en la elaboración del Monitor de Sequías para México y que se puede disponer de éste de forma sistemática y oportuna. Al término del proyecto, se podrá proponer una metodología a ser desarrollada en una segunda etapa que pueda aplicarse en el país para la detección de humedad de suelo a través de plataformas satelitales. Además, tiene el potencial para su aplicación en diversas áreas; una de ellas, en los modelos hidrológicos para escurrimientos y tránsitos de avenidas con mejor información, y que pueda estimar mejor los caudales escurridos y la correspondiente humedad disponible del suelo.



Estimación de humedad de suelo mediante imágenes de satélite.

- *Geoportal para consulta del acervo institucional de información geográfica*

TH1510.1

El Instituto cuenta con un acervo digital de información satelital y cartográfica de cobertura nacional en diferentes escalas que ocupa un volumen aproximado de 15 TB, el cual se incrementa constantemente. Esta información constituye un insumo básico en gran parte de los proyectos desarrollados en las áreas técnicas del IMTA, por lo que se ha manifestado la necesidad de contar con la infraestructura especializada que permita el almacenamiento, organización, consulta y recuperación de dicha información en forma sistemática y en línea, por parte de la comunidad usuaria del Instituto.

Para atender esta necesidad, se propuso el desarrollo de este proyecto, cuyos resultados contemplan la adquisición del equipo de cómputo para el almacenamiento de la información, el desarrollo de la primera versión de un sistema de consulta y transferencia de información, así como su implantación en la IMTAnet.

Se adquirió el equipo de cómputo con la configuración apropiada para el almacenamiento (40 TB) y transferencia de los datos ráster contenidos en el acervo institucional.

Se tiene un banco de datos con una estructura para el almacenamiento de la información satelital disponible en el acervo. Hasta la fecha, se han transferido más de 22,300 escenas del territorio nacional generadas por los satélites *Landsat*, *SPOT*, *Rapideye* y *Geoeye*, tomadas entre 1973 y 2015; además de una cobertura parcial de ortofotos digitales referidas al año 2000 y la cobertura de modelos del relieve LIDAR, disponibles en el Instituto.

Existe una aplicación, funcionando en la Intranet del IMTA, para la consulta y descarga de la información ráster disponible en el banco de datos.

En la actualidad, el manual de usuario se encuentra en proceso de revisión y actualización.

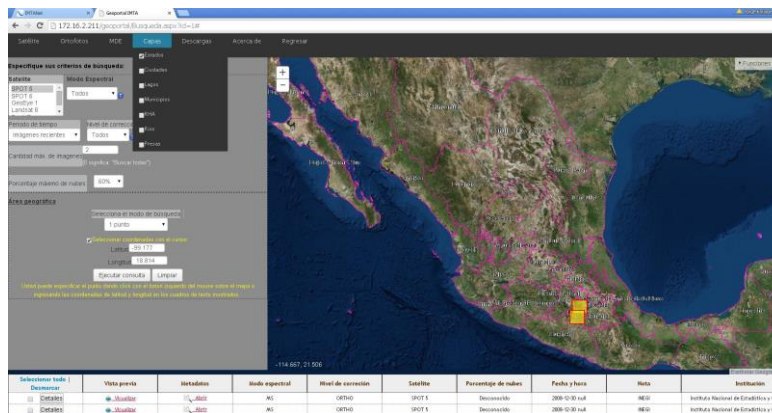
Resultados principales:

En cuanto al impacto social, favorece la correcta toma de decisiones al proporcionar información objetiva, verificable y oportuna para el análisis de la problemática socioeconómica relativa al agua en cuencas hidrográficas del país.

También, el geoportal favorece el aprovechamiento de los recursos financieros asignados a cada proyecto para el planteamiento de soluciones a la problemática a resolver, haciendo innecesaria la compra de información espacial que, por su origen, tiene un alto costo.

De igual forma, favorece la calidad de las investigaciones y de los servicios tecnológicos que presta el IMTA, al reducir tiempos de respuesta en el planteamiento de soluciones y generación de productos.

Se crea un resguardo del acervo y memoria institucional, al permitir el almacenamiento y descripción de información almacenada.



Interface de consulta sobre cobertura de información satelital.

- *Operación y actualización del sistema de verificación de pronósticos de lluvia máxima*
TH1512.1

Un pronóstico meteorológico es el resumen del análisis hecho por un meteorólogo previsor, basándose en las condiciones atmosféricas del momento para prever las condiciones que se presentarán en un tiempo futuro.

Es importante conocer el comportamiento de las variables meteorológicas debido a que cualquier cambio en ellas puede afectar distintas actividades humanas. Dependiendo de la variable, momento, lugar o situación, las consecuencias que se generan pueden ser desde insignificantes hasta cuantiosas. Debido a estas distintas

consecuencias, es necesario mantener informada a la población sobre las variaciones meteorológicas.

La forma más práctica de informar sobre el comportamiento del tiempo es mediante los pronósticos meteorológicos transmitidos por diferentes medios. El conocimiento de dichos pronósticos ayuda en la toma de decisiones ante las posibles situaciones que se generan con las variaciones en el comportamiento de la atmósfera. Dada la importancia que tienen estos pronósticos, deben mantenerse bajo una supervisión estricta para evaluar su calidad. Existen distintos métodos de evaluación y dependen del tipo de pronóstico que se realice y las variables que utilice, entre otros factores. Por lo tanto es necesario determinar, adaptar y actualizar los mejores métodos para calificar los pronósticos.

Hasta ahora, dentro de los principales avances se encuentra la automatización de los procesos que involucra el sistema de verificación de pronósticos de lluvia máxima, con la idea de llegar a ser un sistema totalmente automatizado.

Diariamente, se bajan, de manera automática: del sitio web del Servicio Meteorológico Nacional los boletines de las 6:00 horas, del sitio ftp los datos observados de lluvia y se almacenan en la base de datos. Se tiene el prototipo de la página web de visualización del sistema.

Resultados principales:

Científicos o tecnológicos: la información obtenida del sistema de evaluación permitirá tomar y emitir recomendaciones de mejora a las instancias que comunican el pronóstico de esta variable.

Económicos: derivado de la demanda de información de pronósticos meteorológicos para todo tipo de actividad a cualquier nivel de gobierno, es de suma importancia su veracidad.

Sociales: debido a que los fenómenos meteorológicos tienen un impacto en todos los sectores de la población, el contar con información validada previamente podrá reducir la pérdida de vidas humanas por causa de estos fenómenos.



Visualización previa de la página web del sistema de verificación de lluvia máxima.

- *Investigar y modelar la cantidad y calidad del agua en la región fronteriza México-Estados Unidos de América con enfoque al control de las descargas de aguas residuales*

TC1414.5

Uno de los elementos más importantes de la contaminación de los cuerpos de agua nacionales se asocia con las descargas de aguas residuales municipales y no municipales que se vierten de manera directa o indirecta a través de sus afluentes. El río Bravo/río Grande es el río más grande de Norte América y uno de los principales ríos de México y Estados Unidos. Por ser un cuerpo de agua transfronterizo ha tenido particular importancia debido a la creciente preocupación por el desarrollo económico de la zona fronteriza y por los problemas de contaminación que desde 1992 fueron identificados como consecuencia de la falta de saneamiento en varias poblaciones de ambos países, así como por el aporte de plaguicidas de las zonas agrícolas y de sustancias tóxicas aportadas por las industrias.

El proyecto tiene una duración de dos años y su objetivo es investigar y generar el diagnóstico de la cantidad y calidad del agua, en el tramo comprendido entre la presa Falcón y la desembocadura en el Golfo de México.

Dentro de los principales avances en este semestre se tiene que se seleccionaron un total de 23 sitios de monitoreo: 15 en el cauce principal del río Bravo (RB) y ocho en afluentes o drenes que confluyen al río (AF); cinco descargas de aguas residuales (D), seis plantas de tratamiento (influyente y efluente) (PT), un canal (C) y una obra de toma (OT).

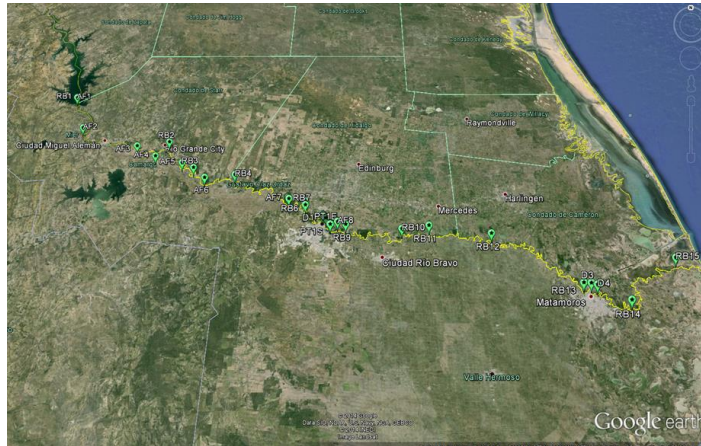
En cada uno de los sitios se realizó la calibración y toma de muestras de agua para el análisis de parámetros fisicoquímicos, metales y plaguicidas. Los resultados indican que el afluente (AF7) Dren Morillo, descarga agua al río Bravo con alta conductividad ($6466 \mu\text{Scm}^{-1}$), mientras que en el cauce principal el intervalo fue de 911 hasta $4247 \mu\text{Scm}^{-1}$, obteniéndose el valor mínimo aguas abajo de la presa Falcón y el máximo en el sitio cercano a la desembocadura, por lo que existe influencia del mar en este sitio. En cuanto al oxígeno disuelto, las descargas y plantas de tratamiento presentaron condiciones anóxicas. No se detectaron plaguicidas en los drenes y en el cauce principal del río. La descarga D5 ubicada en Matamoros es la que aporta más nitrógeno total al río con una concentración de 34 mg/L; mientras que la D3 ubicada en Reynosa aporta 2.05 mg/L de fósforo total, así como 56 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). En cuanto a *Escherichia coli*, las descargas D2, D3, D4 y D5 presentaron concentraciones de $> 24000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$.

Resultados principales:

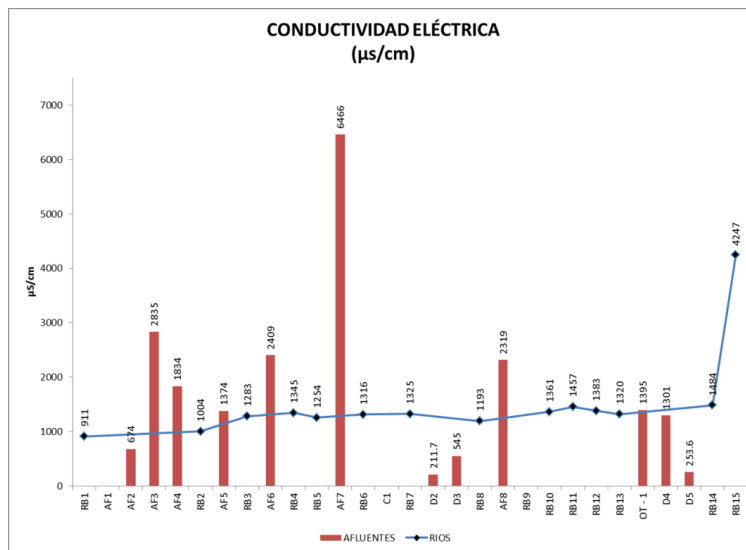
El impacto social del proyecto se verá reflejado una vez que se concluya con la publicación de la Declaratoria del tramo en estudio y la Autoridad del Agua establezca condiciones particulares de descarga para proteger y controlar los aportes de aguas residuales que afecten la calidad del agua del río Bravo.

En lo económico, al finalizar el estudio, es probable que se incrementen los servicios turísticos en la zona.

En cuanto a lo científico y tecnológico, a cada una de las plantas de tratamiento y descargas se les recomendarán sistemas de tratamiento para remover los contaminantes identificados.



Sitios de muestreo en el tramo de estudio (aguas abajo de la presa Internacional Falcón hasta la desembocadura al Golfo de México).



Comportamiento de la conductividad en sitios de muestreo.

- *Impacto de las actividades humanas en la calidad del agua del río Hondo, Quintana Roo TC1420.6*

Con base en un diagnóstico integral realizado por Conagua, se concluye que uno de los principales problemas en la cuenca del río Hondo es el desconocimiento de las aportaciones de sus subcuencas, en calidad y cantidad, así como la falta de información de las actividades productivas que pudieran estar provocando efectos negativos en el agua y otros recursos naturales. Al respecto y con base en trabajos de campo, se lleva a cabo la caracterización de la calidad del agua, y su diagnóstico y modelación para entender el comportamiento de los contaminantes en el cuerpo de agua.

Se efectuaron dos campañas de muestreo de calidad del agua, sedimento y aforo en el río Hondo y la bahía de Chetumal, se caracterizó la actividad agrícola y se trabaja en identificar sus principales contaminantes. Además, se dispone de aforo continuo en dos sitios para entender el comportamiento de la zona estuarina.

Resultados principales:

Los estudios de este tipo permiten definir los límites máximos permisibles de las descargas en función de las metas de calidad y así establecer las acciones de saneamiento, e integran a diversas disciplinas del conocimiento. De igual forma, permiten recomendar condiciones del cuerpo de agua para que sea un recurso natural aprovechable y sostenible, permitiendo tener fuentes alternas de abastecimiento y el uso recreativo al cumplir las metas específicas de calidad del agua.



Toma de muestras en el río Hondo.



Medición de parámetros de campo.

- *Caracterización de un sistema híbrido conformado por un stack de celdas de combustible microbianas- paneles fotovoltaicos para la producción de electricidad a través del tratamiento de aguas residuales y radiación solar (primera parte)*
TC1514.6

El alto consumo de energía eléctrica que demandan las plantas de tratamiento de aguas residuales invita a desarrollar tecnologías alternativas de tratamiento que requieran menor consumo de energía o, incluso, que sean generadoras netas de energía, operen eficientemente y generen menor cantidad de desechos sólidos.

El agua residual contiene grandes cantidades de energía renovable en forma de puentes químicos. Por ejemplo, el agua residual doméstica podría potencialmente generar una energía de hasta 2.2 kW/h.m³ (demanda química de oxígeno [DQO] de 500 mg O₂/L). Mediante un manejo eficiente e innovador, la energía química contenida en las aguas residuales crudas podría cubrir hasta el 7% de la energía consumida por las viviendas.

Recientemente, se ha demostrado que las celdas de combustible microbianas (CCM) pueden ser utilizadas para producir bioenergía (electricidad, metano e hidrógeno), a partir del tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales ya sean de origen doméstico, municipal o industrial contienen un rango variado de materia orgánica biodegradable que puede ser aprovechada por los microorganismos como una fuente de carbono. Durante el proceso de oxidación de la materia orgánica se libera energía que puede ser convertida en electricidad, logrando el doble efecto de depurar el agua residual y generar energía. Además, las CCM se pueden acoplar con celdas solares para mayor generación de energía eléctrica. Las CCM no necesitan construcciones grandes, pero sí escalables, que puedan tratar volúmenes mayores de agua residual para la generación de electricidad en tamaños compactos.

Hasta ahora, se han instalado y se mantienen en operación dos sistemas de multiceldas de combustible microbianas: una con 40 CCM y otra con 20 CCM. Ambos sistemas se alimentan con agua residual de una unidad habitacional, la cual contiene una DQO entre 300 y 800 mg/L. Cada celda ha generado continuamente entre 300 y 700 mV, con una remoción de DQO alrededor del 75%. Igualmente, se desarrolla un sistema de monitoreo del voltaje en tiempo por medio de *LabView* y un banco de resistencias para caracterizar individualmente cada CCM.

Resultados principales:

Con este proyecto se desarrolla y caracteriza un sistema para la autogeneración de electricidad a través de las aguas residuales y la radiación solar, por medio de un sistema híbrido de celdas de combustible microbianas- paneles fotovoltaicos, utilizando espectroscopia de impedancia electroquímica.



Sistema de multiceldas con veinte celdas de combustible microbianas.

- *Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria de bebidas alcohólicas (Tequila) (segunda parte)*
TC1355.4

El tequila es una bebida alcohólica tradicional en México que se obtiene de la destilación del mosto del agave fermentado de la variedad de agave *Tequilana weber* o agave azul. El tequila es, hoy en día, una bebida de aceptación internacional. La producción total de tequila, hasta 2012, fue de 253 200 000 litros, referidos a 40%, alcohol por volumen.

Los residuos generados por las tequileras son: mieles amargas, bagazo de agave tequilero y vinazas tequileras. Todas las vinazas de las diversas industrias tequileras son muy similares: temperaturas cercanas a 90° C y a pH menores que 4.0; demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) en el intervalo de 20-35 g/L y 55.2-150 g/L, respectivamente. Las vinazas de las destilerías, contienen además, sustancias fenólicas y una alta concentración de sulfatos, calcio y potasio.

Durante la primera etapa del proyecto, se muestrearon y caracterizaron fisicoquímicamente las vinazas crudas de siete empresas tequileras del estado de Jalisco. Se seleccionaron procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de las vinazas, de acuerdo con la composición de éstas. También, se realizaron pruebas de tratabilidad mediante sedimentación, fotólisis directa con radiación de luz ultravioleta (UV), fotólisis UV con adición de peróxido de hidrógeno (UV/H₂O₂) y foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂ y UV/Fe³⁺/H₂O₂).

El proceso que generó mayor remoción de materia orgánica fue la fotólisis UV con 26% de eficiencia, seguido de foto-Fenton (UV/Fe³⁺/H₂O₂) con 12.1%. De acuerdo con los barridos espectrofotométricos y a las cinéticas de remoción, la hidrólisis de las vinazas crudas y las mayores remociones de los contaminantes se obtienen en un periodo menor a 12 horas de reacción.

En esta segunda etapa continúa la caracterización del agua residual de una industria tequilera. Además, se lleva a cabo el seguimiento de sistemas de biofiltración sobre medio orgánico empacados con madera de ficus y se realizará el monitoreo y caracterización fisicoquímica del influente y efluentes de los sistemas de tratamiento.

Resultados principales:

Se montaron y operaron cinco reactores anaerobios: tres reactores tipo UASB, un filtro anaerobio empacado con carbón activado granular y lodo anaerobio granular. Los reactores anaerobios generaron remociones de DQO entre 50 y 80% con una producción continua de biogás. Hasta el momento, los sistemas se encuentran operando con una carga orgánica entre 2 y 13 kg DQO/m³·d.

El biofiltro que recibe el efluente tratado de los reactores anaerobios ha alcanzado eficiencia de remoción hasta de 70%, con DQO en su efluente por debajo de 2,000 mg/L.

El biofiltro aerobio que sólo recibe vinaza cruda ha presentado remociones de DQO del 50%, con valores promedios en el efluente de 6 000 mg/L.



Sistemas de biofiltración sobre ficus.

- *Tecnologías para la remoción de contaminantes emergentes, nutrientes y producción de energía en aguas y lodos residuales para cuencas hidrográficas del estado de Morelos (segunda etapa)*

TC1504.1

Durante 2014 se realizaron estudios preliminares de la capacidad de remoción de compuestos emergentes y nutrientes en biofiltros no convencionales con materiales naturales y sintéticos, biorreactores con membrana, oxidación avanzada y combinaciones de estos, así como sobre la generación de energía a partir de agua residual con alto contenido de materia orgánica.

En esta segunda etapa del proyecto se continúa la evaluación de la combinación de procesos que permiten lograr altas remociones de compuestos emergentes. Actualmente, se evalúa el desempeño de cuatro biorreactores con diferentes empaques sintéticos, muestreando el sistema con los parámetros convencionales y procesando las muestras para la determinación de los compuestos ácido mefenámico, fluoxetina y metoprolol.

Asimismo, se operó un biofiltro empacado con material orgánico (ficus) aplicando cargas orgánicas de 50-120 g DQO·m⁻²·d⁻¹ para la remoción de metformina (MTF) y ciprofloxacino (CPX); se realizó el montaje de tres columnas de adsorción empacadas con ficus benjamina para evaluar la remoción por adsorción de MTF y CPX; se instaló un sistema de tratamiento en laboratorio para la remoción de metformina y ciprofloxacino, conformado por un reactor anaerobio-anóxico-aerobio acoplado a un biorreactor con membranas híbrido (biorreactor con membranas con biomasa inmovilizada) y se puso en marcha y se opera un reactor con empaque natural inoculado con biomasa aclimatada al sustrato de vinazas.

Se operaron cuatro reactores con biomasa inmovilizada y lecho sumergido, con soportes sintéticos de cinta de polietileno y cubos de poliuretano, con cargas orgánicas de 6 y 12 g·m⁻²·d⁻¹ para la remoción de ácido mefenámico, fluoxetina y metoprolol. La concentración de estos compuestos en los influentes fue de 10 µg·L⁻¹. Se obtuvieron remociones de los fármacos entre 70 y 95%, siendo las remociones de DQO, N-NH₄, NT y PT en los intervalos de 89-95%, 90-97%, 68-89%, 41-55%, respectivamente.

Se operó un biofiltro empacado con material orgánico (ficus benjamina) con una carga de 50-120 g·DQO·m⁻²·d⁻¹ para la remoción de metformina (MTF) y ciprofloxacino (CPX) con concentraciones de 300 mg·L⁻¹ y 100 mg·L⁻¹ respectivamente. El biofiltro bajo estas cargas ha permitido obtener una remoción del 80% para la metformina y 50% para el ciprofloxacino. Se obtuvieron remociones de DQO y nitrógeno total hasta el 85%, así como una remoción promedio de fósforo total de 40%.

El estudio del proceso de adsorción de MTF y CPX en columnas empacadas con ficus benjamina, usando soluciones con concentraciones de los compuestos de 400 y 15 mg/L respectivamente, indicó que durante los primeros diez días de operación se obtuvo una remoción de 8.5% para la MTF y de 31.9% para el CPX. Se observó la desorción de dichos compuestos a partir del día 11 de operación.

Se realizaron las pruebas hidráulicas y se arrancó el proceso de tratamiento en el sistema experimental para la remoción de MTF y CPX, conformado por un reactor anaerobio-anóxico-aerobio acoplado a un biorreactor con membranas híbrido (biorreactor con membranas con biomasa inmovilizada).

En la actualidad se utiliza un biofiltro con empaque natural (ficus) inoculado con biomasa aclimatada al sustrato de vinazas como un sistema de pulimento del efluente

de un reactor anaerobio tipo UASB, que trata este tipo de residuo. El sistema ha permitido obtener una remoción global de DQO de 85 por ciento.

Resultados principales:

Este proyecto permitirá desarrollar sistemas avanzados y adaptar sistemas ya existentes para remover nutrientes y compuestos emergentes presentes en las aguas y lodos residuales, así como implementar dispositivos de ahorro y/o producción de energía.

Los resultados y productos obtenidos ofrecerán soluciones para asegurar la protección de la salud pública y del medio ambiente, y para la implementación de sistemas de reúso del agua en las comunidades.

Subsecuentemente, las tecnologías desarrolladas permitirán a las comunidades realizar un desarrollo basado en el manejo apropiado de los recursos naturales, creando y preservando ambientes estéticos (espacios abiertos, recreación, belleza). El desarrollo de los prototipos de celdas microbianas para generación de energía eléctrica en el tratamiento de las aguas residuales será una aportación al área de energías alternativas y hará posible disminuir el consumo de energía en las plantas de tratamiento. Con el desarrollo de las tecnologías anteriormente mencionadas, se busca lograr un alto nivel de sustentabilidad a los usuarios, a las comunidades y al medio ambiente.



Instalación experimental biorreactores con lecho sintético para remoción de ácido mefenámico, fluoxetina y metoprolol.

- *Estrategia para potabilización de agua en las cuencas de los ríos Yautepec y Cuautla, Mor., con un enfoque holístico (segunda etapa)*
TC1503.1

En 2014 se realizó la primera etapa del estudio. Se identificaron contaminantes inorgánicos y emergentes en fuentes de abastecimiento y plantas potabilizadoras de las cuencas de los ríos Cuautla y Yautepec.

La evaluación de exposición humana a la gama de contaminantes identificados en el agua de consumo humano mostró que el arsénico (As) y la hormona sintética mestranol son altamente relevantes por su concentración (el As superó el límite de 25µg/L

establecido en la normativa vigente, en tanto que el mestranol superó los 2.5 ng/L propuestos en las guías australianas para reciclamiento de agua con fines potables), así que, posiblemente, la población esté ingiriendo dosis superiores a las aceptables. Ambos contaminantes son carcinógenos de humanos y disruptores endócrinos.

En esta etapa, se planteó dar continuidad a la evaluación de riesgos sanitarios, y evaluar dos tecnologías de tratamiento para potabilización del agua a fin de remover As y 17 β -estradiol (molécula modelo de la movilidad y degradabilidad del mestranol).

Una de las tecnologías propuestas para la remoción del arsénico y del 17- β -estradiol, fue el acoplamiento de la electrocoagulación a floculación en medios granulares y filtración directa (antracita: arena) con dos tamaños de partícula distintos.

Se tienen resultados para dos condiciones de prueba: la primera fue con una relación 50:1 de hierro dosificado: As removido, y una dosis de cloro de 6.4 mg/L; la segunda fue con una relación 40:1 y una dosis de cloro de 5.25 mg/L. En ambos casos la concentración inicial de As fue del orden de 200 μ g/L y se probaron ambos filtros: grueso y fino. Con la primera condición se alcanzaron niveles de As inferiores a los 25 μ g/L que establece la NOM 127-SSA1-1996, Modificación 2000, en tanto que con la segunda, la concentración final rebasó en un 20% el límite permitido. Se observó que no hay diferencias entre las granulometrías de los filtros evaluados.

Resultados principales:

Se espera contar con una tecnología de bajo costo y alta eficiencia de remoción de As y hormonas que persisten a los procesos convencionales de potabilización para abastecer a localidades principalmente rurales, cuyos recursos para comprar o disponer de agua químicamente segura son limitados.

Desde el punto de vista tecnológico, la remoción simultánea de estos contaminantes es un reto, dadas sus características fisicoquímicas y diversidad molecular.



Desarrollo de pruebas para remoción de arsénico.

- *Métodos analíticos para determinación de compuestos emergentes en agua (segunda parte)*
TC1502.1

Diariamente, la actividad humana crea alteraciones sobre su entorno. Es así que actividades tan comunes como la higiene personal o el cuidado de la salud pueden generar serios problemas en el ecosistema. En la actualidad, para muchos investigadores los contaminantes más problemáticos son los llamados "contaminantes emergentes", compuestos de diferente origen y naturaleza química que corresponden a una amplia gama de sustancias, entre las que se encuentran los productos

farmacéuticos y sus derivados: esteroides y hormonas; productos de cuidado personal; aditivos, y agentes industriales.

En el caso particular de los productos farmacéuticos y sus subproductos (metabolitos), se puede hablar que se trata de contaminantes emergentes, que no se encuentran regulados y cuyos efectos sobre el medio ambiente en general (seres humanos y biota) no son todavía suficientemente conocidos. Si bien no se trata de compuestos persistentes, dado que son constantemente utilizados y vertidos, además de que los sistemas de tratamiento convencionales de agua potable y de aguas residuales muchas veces no son capaces de eliminarlos, aumentando su concentración en el ecosistema, se requiere de nuevos y más sensibles métodos de análisis para su detección y cuantificación. Por ello, a partir de 2014 en el laboratorio de Calidad del Agua del IMTA se desarrollan e implementan metodologías de análisis para la identificación y cuantificación de estos compuestos a nivel de nanogramos por litro.

Se inició la validación de uno de los métodos desarrollados e implementados en 2014. En 2015 se continúa con la revisión de artículos relacionados con investigaciones en compuestos emergentes, a fin de seleccionar metodologías base que permitan identificar y cuantificar los compuestos que se definieron.

De igual forma, se revisó la información asociada con investigaciones sobre este tipo de compuestos, y se definieron estándares, materiales y reactivos necesarios para el desarrollo e implementación de los métodos, así como para la elaboración de las requisiciones.

Resultados principales:

El impacto del proyecto es alto, ya que se espera contar con métodos analíticos para determinación de compuestos que son, hoy por hoy, empleados sin ninguna restricción en nuestra vida cotidiana y que pueden convertirse en un problema de salud futuro.

El impacto económico radica en que al contar con métodos analíticos ya no será necesario mandar a analizar las muestras en el extranjero, lo que repercute en los costos de los proyectos y da valor agregado al laboratorio de Calidad del Agua del IMTA.

El impacto científico y tecnológico es, sin duda, elevado, ya que de contar con estos métodos analíticos implementados nos colocaría a la vanguardia de los laboratorios acreditados de calidad del agua.

- *Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) en ingeniería de riego*
RD1508.1

Ante las limitaciones de los satélites para suministrar imágenes con alta frecuencia y alta resolución, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT), equipados con sensores multifuncionales pequeños, complementados con sistemas de navegación autónoma, pueden ser una alternativa viable de bajo costo para monitorear zonas agrícolas que facilite el monitoreo frecuente de parámetros y variables de interés de los cultivos. Se ha reportado que el uso de sensores espectrales miniaturizados de bajo costo puede suministrar de información similar a la obtenida por vehículos aéreos tripulados o satélites.

Se adquirió un VANT o dron para el monitoreo parcelario de zonas agrícolas, se ha capacitado en el uso y manejo de VANT para monitoreo de parcelas agrícolas y se han desarrollado y validado dos metodologías que permitan mejorar los procesos de interés para la ingeniería de riego a fin de monitorear la aplicación del riego a nivel parcelario y el estado de la infraestructura hidroagrícola.

Resultados principales:

El monitoreo de variables del sistema agua-suelo-planta-atmósfera, de interés para la gestión de las zonas agrícolas del país, consume tiempo y recursos económicos, instrumentales y humanos por la cantidad de datos que requieren, aunado a la dificultad para acceso a zonas agrícolas, por lo que frecuentemente el monitoreo de variables de interés agrícola es deficiente, disperso y requiere de un tratamiento previo para revisar su calidad y realizar una interpolación espacial y temporal. El uso de VANT o *drones* en la gestión del agua en zonas agrícolas incrementa la disponibilidad de imágenes parcelarias de alta resolución que facilita la supervisión y monitoreo del servicio de riego y su aplicación parcelaria.



VANT adquirido por el IMTA.

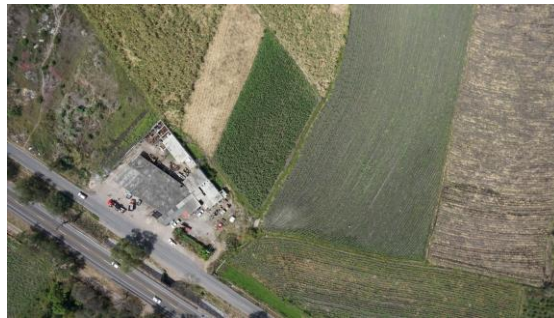


Imagen de una zona agrícola, Puente de Ixtla, Morelos.

- *Sistema de información sobre extracciones con fines agrícolas en acuíferos*

RD1510.1

En México, el agua subterránea se tiene distribuida en un total de 653 acuíferos, clasificados y ubicados por la Conagua, entre los que se encuentran 115 actualmente sobreexplotados por tener, anualmente, una extracción mayor a un 10%, comparado con el volumen de recarga en su cuenca. Hoy en día, el volumen total de agua subterránea se estima en 28 000 hm³, de los cuales el 71% se destina a la agricultura y el resto a uso urbano e industrial.

El cambio climático y sus consecuencias en la variabilidad e intensidad de la precipitación pueden inducir cambios significativos en la disponibilidad de agua en los acuíferos, mermando considerablemente su volumen sustentable. Por esto, aunado a las desmedidas extracciones que se tienen, presenta un abatimiento del nivel estático, así como un aumento en los costos de extracción y, en muchos casos, el abandono por falta del recurso.

Por otra parte los usuarios, en su mayoría, no llevan una medición y control de sus extracciones, originando, en la mayoría de los casos, que utilicen un volumen mayor al que tienen concesionado.

Las perspectivas que se observan con la sobreexplotación del agua y una disminución en su calidad, implica establecer políticas de operación y manejo en la extracción del agua subterránea que permitan frenar los abatimientos y restablecer sus condiciones a un esquema sustentable. Ante este panorama, se hace necesario el desarrollo de un sistema de información que permita acceder a datos sobre los volúmenes extraídos, concesionados y recargados de los acuíferos, de manera flexible y organizada, clasificando los totales por grupos de interés y que incluya entre

sus funciones la posibilidad de realizar una estimación indirecta del volumen extraído cuando el dato real no esté disponible.

Se considera que el contar con esta herramienta para el registro y control de extracciones de todos los acuíferos del país es de gran valor, especialmente para llevar un control del balance en su contenido volumétrico total, así como para la toma de decisiones y control en las medidas de extracción.

El principal avance que se tienen es la elaboración del sistema informático que permite la integración de la base de datos de todos los acuíferos del país, en donde se puede analizar información del volumen concesionado y la cantidad de acuíferos por organismo de cuenca, entidad federativa y municipio.

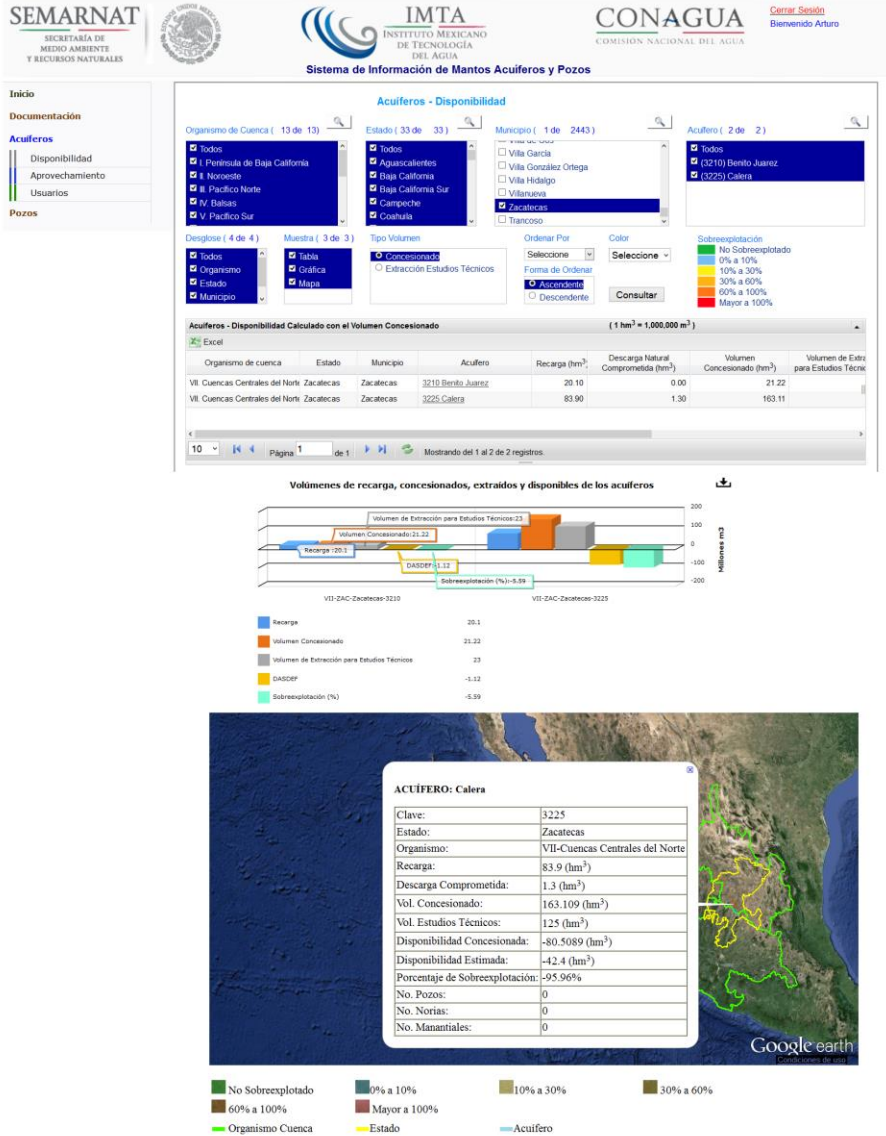
En particular, se tienen los avances para Zacatecas, en donde se precisa el número de concesiones por acuífero en un total de 34 acuíferos. El sistema también determina el déficit en volumen entre las recargas y concesiones, el nivel de sobreexplotación en el ámbito acuífero, así como intensidades y porcentajes de forma gráfica en colores.

Resultados principales:

La conformación de imágenes y porcentajes de sobreexplotación de acuíferos permitirá tomar medidas de control en las extracciones, sobre todo en aquellos acuíferos donde la sobreexplotación es superior al 30% del volumen de recarga, así como determinar qué pozos y su ubicación son los que deben disminuir significativamente sus extracciones.

El impacto social se verá reflejado en conservar el recurso de agua subterráneo para las futuras generaciones, y asegurar que el agua disponible de manera sustentable sea también económicamente costeable para los usuarios de los acuíferos.

Desde el punto de vista tecnológico, el sistema de monitoreo de acuíferos debe ser una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en las políticas de operación de extracciones y en la conservación de los recursos renovables del agua subterránea en los acuíferos de México.



Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA).

- *Modelación numérica de la circulación de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México*
DP1431.6

Recientemente, el impacto de las actividades humanas sobre la Bahía de Todos Santos (BTS) ha ido en aumento; por ejemplo: pesca, cultivos intensivos de atún, dragado del puerto, construcción de marinas e instalación de desaladoras, entre otras. Por lo anterior, se hace necesario aplicar metodologías de ciencia básica para un mejor entendimiento de la circulación de la bahía, y con ello, contar con el conocimiento necesario para la toma de decisiones en su manejo, así como estar en la posibilidad de pronosticar la circulación e impacto por derrames de contaminantes y afectación por cambio climático.

La primera etapa del proyecto consistió en instalar el modelo tridimensional oceánico ROMS en el clúster *Turing*, del IMTA. Para ello, fue necesaria la compilación de librerías requeridas por el modelo.

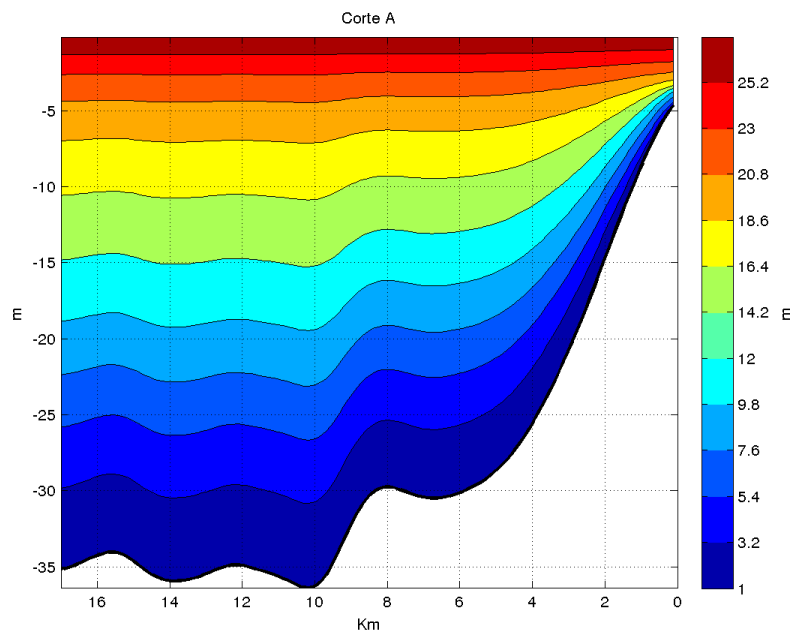
Ya instalado el modelo, se prepararon las mallas y algunos forzamientos preliminares para realizar las pruebas del funcionamiento del modelo. Una de las pruebas importantes consistió en cuantificar y minimizar las corrientes ficticias generadas por el uso de las coordenadas verticales Sigma.

Con la finalidad de obtener y corroborar las salidas del modelo, se recopiló información sobre variables atmosféricas y la temperatura superficial del mar. Además, se identificaron productos de re-análisis, que pueden utilizarse como forzamiento del modelo.

Se efectuaron corridas, donde se incluyó la marea como único forzante. La corrida se hizo por un año y seis meses, con la finalidad de estabilizar el modelo. Los primeros análisis evidencian la presencia de marea interna, la cual se genera en la región del cañón Punta Banda e ingresa al interior de la bahía. La marea interna puede producir mezcla y/o transportar nutrientes hacia la superficie, promoviendo el crecimiento de algas en la zona.

Resultados principales:

Al término del estudio se conocerá la circulación y los mecanismos principales que la regulan. Este conocimiento podrá ser utilizado en la toma de decisiones en distintas áreas económicas, como son: pesquerías, acuacultura, turismo y manejo de la zona costera. Además, es información útil para explicar distintos procesos biológicos y químicos dentro de la bahía.



Discretización vertical en coordenadas Sigma del modelo ROMS, en la Bahía de Todos Santos.

- *Diagnóstico y propuesta de regulación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento*

DP1504.1

En 2012 se originó una reforma a la Constitución en materia de derechos humanos, modificando el artículo 4° en donde se pronuncia el reconocimiento expreso del derecho humano al agua bajo ciertas características. Asimismo, se estableció que el Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases.

En este sentido, en 2014 se elaboró un proyecto de Ley General de Aguas donde se establecen bases para la implementación del derecho humano al agua en los tres ámbitos de gobierno, así como para la regulación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Este nuevo entorno jurídico promoverá cambios en las formas de prestar los servicios de abastecimiento de agua, recolección de aguas residuales y su tratamiento, ya sea a través de instancias públicas o privadas.

La figura de reguladores en cada una de las entidades federativas que se encarguen de establecer las reglas para los operadores es un reto que el país tiene para lograr regularlos y, con ello, elevar no sólo la calidad de los servicios en la materia, sino incrementar el bienestar de los usuarios-clientes bajo el concepto del interés público, donde de manera consecuyente se haga tangible la implementación del derecho humano al agua.

Con base en documentación especializada, se ha comenzado a realizar una identificación de experiencias internacionales en regulación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en América Latina, considerándose los siguientes países: Argentina, Brasil, Chile, México y Perú.

Resultados principales:

Los servicios públicos requieren un entorno que brinde seguridad a los usuarios para recibir un servicio de calidad, pero que también proporcione a los prestadores un horizonte claro sobre las condiciones para ofrecer los servicios a distintos tipos de usuarios y que les permita recuperar los costos totales de operación, así como inversión futura.

En los estados de nuestro país este ambiente no se ha logrado debido a las grandes diferencias existentes entre los mismos ámbitos urbanos como en los rurales. Sin embargo, es necesario construir un sector que cuente, de forma institucionalizada, con regulación de lo que se quiere de los servicios y el cómo implementarlo.

- *Análisis económico integral en un sistema hídrico*
- DP1503.1

México enfrenta problemas de escasez, ineficiencia y contaminación del agua. Respecto al primer problema, éste se ha manejado tradicionalmente por el lado de la oferta; es decir, mediante la construcción de la infraestructura hidráulica, lo cual ha permitido, al menos temporalmente, satisfacer las crecientes demandas de agua de los diferentes sectores de usuarios. Sólo recientemente se ha insistido en ejercer un mayor control de la demanda de agua, a través del uso de instrumentos económicos para lograr su uso eficiente.

Para determinar la contribución económica del agua en las diversas inversiones hidráulicas que se hacen, a fin de otorgar estos servicios: riego, generación de hidroelectricidad, abastecimiento de agua urbano y rural, y control de inundaciones y saneamiento, es importante valorar el recurso económicamente.

El objetivo de este proyecto consiste en establecer una metodología y las correspondientes herramientas económicas que posibiliten estimar, en un sistema de recursos hídricos, el costo de oportunidad del recurso, así como el de las medidas de gestión necesarias para lograr los objetivos ambientales, por ejemplo, el gasto ecológico.

En 2015, se identificaron las industrias de mayor relevancia económica en la subcuenca Río Lerma 4, Salamanca, y mediante el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, se obtuvieron sus características productivas.

Para el desarrollo de modelo hidroeconómico de la distribución del agua en la subcuenca, se elaboraron sus esquemas topológicos, que contienen límites geográficos, presas, ríos y lagos, así como los ocho módulos del Distrito de Riego 011, fuentes de agua superficial y puntos de demanda agrícola, junto con las correspondientes conexiones entre demanda y oferta y entre fuentes, para posteriormente convertirlos en formato de Sistema de Información Geográfica.

En la literatura especializada, se identificó una forma funcional y las variables que intervienen en la productividad industrial, utilizada en la determinación del costo de oportunidad del agua de uso industrial en la subcuenca.

En la Dirección Local Guanajuato, se identificó y solicitó información hidroagrícola útil para determinar la función de la producción del agua en agricultura: superficie sembrada y cosechada, rendimiento, producción, precio medio rural, valor de la producción, valor de la producción total, costo de producción, costo de producción total ingreso neto, ingreso neto total, superficie regada, lámina neta, lámina bruta, volúmenes brutos, eficiencia de conducción y volúmenes netos, por módulo, y por cultivo y ciclo agrícola, para el periodo 2009-2014, en cada uno de los módulos: Acámbaro, Salvatierra, Jaral, Valle de Santiago, Cortázar, Salamanca, Irapuato y Abasolo. Además, se identificó que existe información sobre el volumen distribuido y la fuente de agua (superficial o subterránea), el diagrama de la distribución del agua desde la presa Solís hasta el módulo Abasolo, incluida la infraestructura en operación y los puntos de toma de agua superficial hacia cada módulo.

Resultados principales:

Contar con criterios económicos que permitan determinar, a partir de los usos público urbano, agrícola, industria autoabastecida y medioambiental del agua, cuál es la asignación eficiente del ésta en la subcuenca Río Lerma 4, Salamanca, Guanajuato.

- *Fortalecimiento y puesta en marcha del observatorio de conflictos por el agua*
CP1512.1

Este proyecto parte de la necesidad de construir una herramienta metodológica a fin de analizar los conflictos por el agua en México. Dado el caso, se lleva a cabo un seguimiento de los principales conflictos actuales, basado en fuentes hemerográficas nacionales, para su posterior análisis.

La información generada y analizada podrá ser consultada en un sitio web, donde se podrá consultar una ficha informativa de los principales conflictos hídricos, así como una base de datos relacionada al tema del agua y boletines.

Ahora, se trabaja en el documento teórico-metodológico sobre los conflictos por el agua, se actualiza la base de datos hemerográfica, se rediseña la estructura del sitio web y se elabora el contenido de las fichas informativas.

Resultados principales:

El alcance que puede tener el observatorio de conflictos, a través de un sitio web y su vinculación con las redes sociales, permitirá a personas interesadas en el tema tener una herramienta no sólo metodológica, sino de consulta de contenidos para conocer, estudiar y dar seguimiento a los temas asociados con el agua y, en especial, con la conflictividad hídrica.



Página de inicio del sitio web *Observatorio de conflictos por el agua en México*.

- *Agua y pueblos indígenas*
CP1513.1

Ante la falta de datos precisos en materia de agua y saneamiento en las regiones indígenas, y por considerar que entre las comunidades rurales las que presentan mayor carencia o limitación de estos servicios son precisamente las primeras, se planteó la elaboración de un sistema de información estadístico y geográfico, basado en información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, que dé cuenta de las condiciones de los servicios de agua y saneamiento en dos zonas indígenas de Oaxaca y Tabasco.

Actualmente, se está en proceso de revisión y articulación de la información disponible para crear una base de datos acorde con la situación real de las localidades indígenas. Ello, con miras a que se conforme un modelo para elaborar un atlas nacional de los pueblos indígenas del México actual.

Hasta el momento, se cuenta con un esquema gráfico del atlas nacional para la región mixteca de Oaxaca y se prepara el correspondiente a Tabasco.

Resultados principales:

El principal impacto social es contar con datos objetivos del estado que guardan las regiones indígenas, en cuanto a los servicios de agua y saneamiento para, a partir de ellos, modificar o perfeccionar programas y políticas públicas.

2. ASESORÍA Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS

TRABAJOS EN COLABORACIÓN CON LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

- *Estudio de riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana*
HC1333.6

A través de su historia, México se ha visto afectado por la inclemencia de los fenómenos meteorológicos; esto debido a su ubicación geográfica. Dentro de los principales problemas que generan los fenómenos meteorológicos con intensidad inusual están las precipitaciones extremas, producto de huracanes, tormentas y depresiones tropicales, así como fenómenos convectivos. Dichas precipitaciones generan inundaciones que suelen producir severos daños a la población y a vías de comunicación; a la infraestructura urbana, hidroagrícola, fauna, así como a diversas actividades económicas e, incluso, pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas.

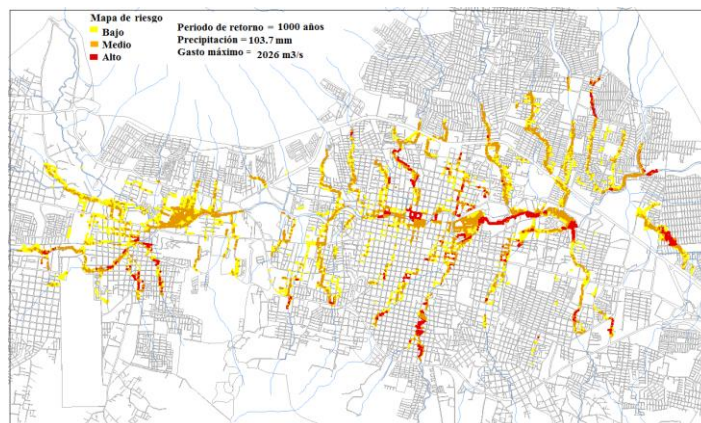
Es en este sentido que surge la necesidad de desarrollar una metodología que permita generar mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación, con la que sea factible determinar los daños generados por los escurrimientos pluviales y fluviales, además de generar diversos escenarios con los que se puedan proponer acciones que permitan mitigar dichos daños. Los modelos matemáticos resultan una herramienta necesaria para realizar estos escenarios, con los que se pueda determinar a un mínimo costo las acciones de solución a los problemas de inundación en las zonas urbanas.

Se desarrolla una metodología para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo en zonas urbanas con el uso de modelos matemáticos. Estos mapas se obtienen considerando la integración de la infraestructura pluvial, en el análisis de escurrimientos en calles y el escurrimiento fluvial (ríos), con los que se obtienen resultados más confiables.

Resultados principales:

Al desarrollar una metodología para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo, con el uso de los modelos matemáticos, se logran reducir costos en el análisis de escenarios, se determinan de manera más eficaz las acciones para la mitigación de daños por inundación, así como la cuantificación en costos generados por la misma.

Para los mapas de peligro se ha propuesto un criterio que toma en cuenta no sólo el tirante y la velocidad del agua alcanzados en las calles; también se consideran los criterios de deslizamiento y vuelco, con los cuales es posible establecer con mayor certeza los problemas generados por los escurrimientos de alguna precipitación dada en una zona urbana.



Mapa de riesgo por inundación para un periodo de retorno de 1 000 años, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, calculado con un modelo matemático bidimensional.

- *Diseño y levantamiento del Registro Nacional de Información Estadística y Geográfica del Agua TH1514.3*

En el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 se establece la necesidad de integrar el Registro Nacional de Información Estadística y Geográfica del Agua, cuya función es inventariar y catalogar los conjuntos de datos sujetos a interpretación estadística y geográfica con los que cuenta el sector, de utilidad para el quehacer de sus principales actores.

En este orden de ideas, el diseño y levantamiento de información para el Registro Nacional de Información Estadística y Geográfica del Agua se alinearán al acuerdo por el que se aprueba la Norma Técnica para el acceso y publicación de Datos Abiertos de la Información Estadística y Geográfica de Interés Nacional, del cual el INEGI funge como unidad central coordinadora del sistema.

Los objetivos específicos de este proyecto son: 1) contar con formatos y manual de registro para las siguientes instancias: casos de uso, datos e informantes; 2) realizar el levantamiento de datos en las áreas prioritarias de la Conagua; 3) elaborar diagnóstico de los datos y recomendaciones bajo criterios de: consistencia, congruencia, disponibilidad, accesibilidad y uniformidad, y 4) suministrar asistencia técnica a las áreas participantes.

A la fecha, se han revisado estándares de metadatos nacionales e internacionales y se generaron los formatos y manuales para el registro de la información (casos de uso, datos e informantes), así como formatos para la realización de diagramas; por otra parte, se efectúa el levantamiento de los datos. Igualmente, se tiene terminada la Cartera de Proyectos y Agua Potable y se trabaja en las de Calidad del Agua y Distritos y Unidades de Riego.

Resultados principales:

Establecer las bases científicas de generación de información hídrica, tanto en su nivel actual como para su mejora bajo criterios bien definidos; además de establecer los criterios de uso para mejorar su impacto social y establecer las tecnologías de explotación de los mismos.

- *Actualización de datos estadísticos y geográficos, y mantenimiento de componentes informáticos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*

TH1517.3

En el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 se establece la unificación de plataformas informáticas de carácter analítico y geográfico, bajo las cuales se estructuran y almacenan datos sobre riesgos, cantidad, calidad, usos y conservación del agua, con la finalidad de facilitar su mantenimiento y actualización, así como la ampliación y fortalecimiento de los almacenes de datos a escala nacional y regional bajo esquemas modernos y eficientes donde se estructurarán y consolidarán datos, de forma tal que faciliten la generación inteligente de información útil y confiable para apoyar los procesos de evaluación, planeación y decisión del sector hídrico nacional.

Los objetivos específicos de este proyecto, en apoyo al SINA, son: 1) realizar la actualización de datos y mapas al cierre 2014; 2) realizar el mantenimiento anual de los componentes informáticos; 3) elaborar un documento de rediseño conceptual y gráfico de la interfaz de consulta analítica y cartográfica; 4) hacer disponibles servicios de datos y mapas a partir del almacén de datos; 5) integrar al SINA con otros sistemas informáticos dedicados a procesos de planeación y evaluación.

Para alcanzar los objetivos citados, se ha solicitado la información estadística y geográfica al cierre del 2014 a las diferentes áreas o dependencias, y se está en proceso de recepción y validación de la misma. Además, se ha dado mantenimiento a algunos procesos y a algunas estructuras de tablas con respecto de la información que se recibe.

Se tiene un avance del 50% en el documento de rediseño conceptual y gráfico de la interfaz del SINA y se comenzó a desarrollar la interconexión con los archivos de Excel, de la Cartera de Proyectos.

Resultados principales:

El sistema permite mitigar costos de difusión de información, pues es un sistema en Internet interactivo que hace posible descargar la información mostrada rápidamente sin intervención de un operador.

- *Consolidación del Catálogo Nacional de Programas y Proyectos del Sector Hídrico*

TH1518.3

La Subdirección General de Planeación de la Conagua establece y dirige las estrategias dirigidas a fortalecer el desarrollo de las acciones de transversalidad entre las diversas instituciones y actores vinculados al agua, para lograr los objetivos, metas y estrategias institucionales.

En este sentido, es importante mejorar los instrumentos de planeación hídrica a fin de contar con un sistema nacional de generación de proyectos y un acervo robusto y suficiente de proyectos de inversión, para lo cual se requiere continuar con los esfuerzos enfocados a detectar necesidades y demandas por parte de la población y los gobiernos estatales y municipales, y emprender un programa bien sustentado y vigoroso de estudios y proyectos.

Hasta el momento, se tiene: el Catálogo Nacional de Programas y Proyectos, los sistemas de indicadores de gestión y de impacto de los proyectos, las cédulas ejecutivas con la información necesaria para el seguimiento de los elementos y

componentes de programas y proyectos, los criterios para la evaluación de proyectos incluidos en el catálogo y el informe final.

Resultados principales:

Dada la gran cantidad de obras de infraestructura que la creciente población del país demanda, es necesario impulsar y orientar mayores recursos en la realización de estudio y proyectos de inversión en la Conagua, ya que ante la carencia de estos, la gestión de agua afecta el proceso de planeación de las inversiones.

- *Ingeniería de detalle, implementación, puesta en marcha e inicio de operación de la infraestructura que permita mejorar el abasto y la calidad del agua en la Región Lagunera en el estado de Coahuila de Zaragoza*

TC1521.3

En 2014 el IMTA brindó asistencia técnica para la instalación de diez plantas potabilizadoras para remoción de arsénico de fuentes de abastecimiento público en la cabecera municipal y zona rural de Torreón, Coahuila. En 2015, la Conagua solicitó al IMTA asistencia técnica para elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras a pie de pozos en Coahuila para remoción de arsénico, apoyo técnico durante la ejecución de las obras y evaluación de su funcionamiento.

El IMTA elaboró los términos de referencia con los que la Conagua lanzó tres convocatorias, cada una para adjudicar la construcción y puesta en marcha de dos plantas potabilizadoras: 1) Licitación LO-016B00018-N2-2015: Pozos Plataneras y Caballo Blanco del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de San Pedro, Coahuila; 2) Licitación LO-016B00018-N3-2015: Pozos Isabeles y Alamito del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Francisco I. Madero, Coahuila, y 3) Licitación LO-016B00018-N4-2015: Pozos San Antonio de los Bravos y 32 (Jumbo) del sistema de Aguas y Saneamiento del municipio de Torreón, Coahuila.

Resultados principales:

Una vez instaladas las plantas potabilizadoras con tecnología de filtración directa para remoción de arsénico, será posible producir agua con calidad potable que podrá usarse para abastecer los municipios de San Pedro, Francisco I. Madero y Torreón, Coahuila. Esta acción resolverá la problemática de calidad del agua que existe en la Región Lagunera, que beneficiará a una población aproximada de 83,400 habitantes.



Pozo Caballo Blanco, San Pedro, Coahuila.

- *Ingeniería de detalle, implementación, puesta en marcha e inicio de operación de la infraestructura que permita mejorar el abasto y la calidad del agua en la Región Lagunera en el estado de Durango TC1522.3*

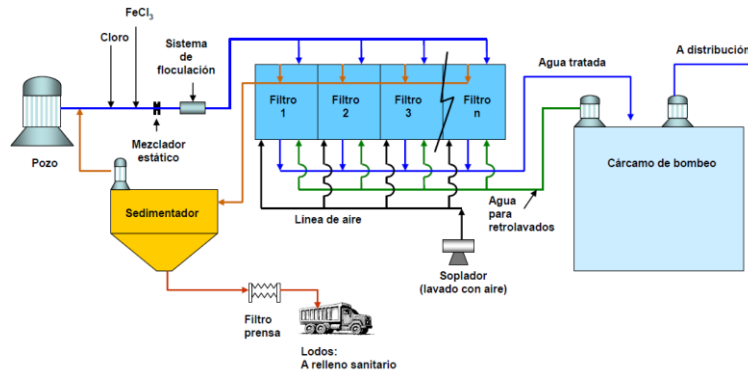
En 2014 el IMTA realizó un estudio de factibilidad técnica para la implementación de plantas potabilizadoras para remoción de arsénico de 21 pozos en el estado de Durango, así como la determinación de los esquemas de tratamiento más convenientes, de acuerdo con las condiciones existentes en cada pozo. Además, proporcionó asistencia técnica durante la construcción y puesta en marcha de dos plantas potabilizadoras del tipo filtración directa en Gómez Palacio, Durango.

En 2015, el Instituto elaborará ocho proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras para remoción de arsénico y apoyará a la Conagua en la ejecución y evaluación de dichas obras.

En este semestre, el IMTA elaboró los términos técnicos de referencia para complementar las bases de licitación de los proyectos a detalle de seis plantas potabilizadoras de tipo nanofiltración, filtración directa combinada con nanofiltración y filtración por gravedad, para pozos con problemas de arsénico, dureza, fluoruros y sulfatos.

Resultados principales:

Las ocho plantas potabilizadoras con tecnología de filtración directa y nanofiltración, una vez instaladas, producirán agua potable para abastecer a los municipios de Gómez Palacio, Tualillo y San Felipe del estado de Durango. El eliminar del agua arsénico, fluoruros, sulfatos y dureza permitirá reducir los riesgos a la salud por el consumo de agua en la Región Lagunera, para una población estimada de 221,000 habitantes.



Esquema general de las plantas de filtración directa para remoción de arsénico.

- *Acciones de manejo integral de zonas agrícolas del DR 056, con suministro de energía renovable RD-1424.3*

La cuenca de captación de la presa Atlangatepec presenta problemas de degradación del suelo, dando como resultado la entrada de azolves a la presa, reduciendo su vida útil y afectando a los usuarios del Módulo de Riego V del Distrito de Riego 056 Atoyac-Zahuapan, Tlaxcala. Dentro de este contexto, en el proyecto se presentan propuestas de acciones de conservación de suelo y agua para disminuir la carga de azolves al cuerpo de agua de la presa y, al mismo tiempo, promover la infiltración de escurrimientos en apoyo a la recarga de acuíferos.

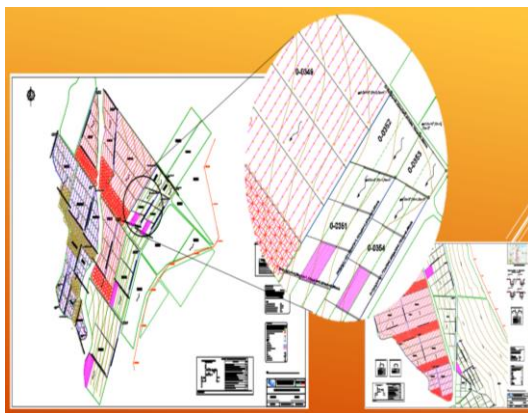
En lo referente a la cuenca de captación de la presa, se realizaron propuestas de prácticas de conservación de suelo y agua para reducir la erosión hídrica y la llegada de azolves a la presa. Las acciones recomendadas incluyen prácticas vegetativas y prácticas mecánicas con intervención en todos los usos del suelo del sector productivo: agrícola, forestal y pecuario. Se proponen, asimismo, obras transversales (represas de gaviones y de geocostales) para el control de cárcavas en zonas con alto grado de erosión.

En la zona de riego del Módulo V Canal Atlangatepec, se realizaron proyectos ejecutivos, desde la obra de toma en la presa, hasta el área agrícola. En el diseño se privilegió la condición de aprovechar al máximo la escasa carga hidráulica existente en el sistema, así como incorporar la mayor cantidad de superficie al riego presurizado. Lo anterior, con el objeto de fomentar el uso eficiente del agua y la energía en proyectos productivos agrícolas, así como impulsar una reconversión productiva en hortalizas y forraje.

Para la zona de riego del distrito, se realizó una propuesta que consiste en la tecnificación del riego del agua de retorno con suministro de energía renovable. Tanto el sistema de riego como la ubicación del punto de conexión del sistema de bombeo serán móviles. Esta propuesta se efectuó para cuatro sitios importantes de afloramiento de aguas de retorno (gastos en el rango de 12 a 21 lps).

Resultados principales:

Con el presente proyecto, se busca coadyuvar en el control de la erosión del suelo en el área de captación de la presa Atlangatepec y en la integración de proyectos ejecutivos en las pequeñas áreas de riego del DR 056 con el empleo de energías renovables, impactando de manera positiva en la economía de los productores locales y sus familias.



Módulo V Canal Atlangatepec. Planos unifilares y planos constructivos parcelarios.

- *Evaluación de sistemas de drenaje parcelario y sistemas de bombeo con energía eólica para mitigar y controlar el ensalitramiento en suelos agrícolas*

RD1506.1

Durante 2012 y 2013, en el Distrito de Riego 038 Río Mayo, Sonora, se encontró que las mayores superficies ensalitradas se presentan cuando los niveles freáticos están más superficiales y las temperaturas más altas. Con el propósito de aportar soluciones a los problemas de ensalitramiento de los suelos causados por mantos freáticos superficiales y temperatura, se seleccionó una parcela piloto de 4.3 ha que dispone de drenaje parcelario subsuperficial y de un cárcamo de bombeo. La parcela se localiza en la planicie costera, por debajo de la cota 5 m sobre el nivel del mar. El sistema de drenaje no opera adecuadamente debido a que el agua drenada en el cárcamo no se evacua hacia la red de drenaje a cielo abierto del distrito. Por ello, se requiere de bombeo, mismo que se realiza con energía eólica.

En el área del proyecto, incluida la parcela piloto y el Módulo de Riego 05, se monitorea mensualmente la salinidad del suelo, el nivel freático, la salinidad del agua de riego y la del agua freática, y se registran las condiciones de clima. Se identificaron las variables que se relacionan con el ensalitramiento del suelo hasta una profundidad de 1.5 m, del Módulo de Riego 05 y de la parcela piloto de bombeo de agua de drenaje con energía eólica. Estas variables son: temperatura ambiente, manto freático superficial, evapotranspiración, precipitación pluvial, contenido de sales del agua freática y contenido de sales del agua de riego.

Se generó información sobre la variación espacial y temporal de la salinidad de los suelos y de áreas con un nivel freático superficial. Es así que las afectaciones por sales representan el 97% del área del módulo hasta una profundidad de 1.5 m. Los problemas de drenaje con niveles freáticos hasta 1.5 m de profundidad cubren el 64% del área del módulo y las áreas con contenidos altos de sales del agua freática comprenden el 85% del área del módulo. Con las mediciones que se hacen en campo, de los parámetros relacionados con la salinidad, se determinó como muy importante poner en práctica un mecanismo para bajar los niveles freáticos que presentan altos contenidos de sales solubles, que ascienden por capilaridad hacia la superficie del suelo debido a las altas temperaturas y evaporación; es así como se ensalitrán los suelos.

El mecanismo mencionado es el bombeo del agua drenada por un sistema de drenaje parcelario subsuperficial existente en una superficie de 4.3 ha. El sistema de drenaje incluye líneas de tubería corrugada de plástico, perforada, enterrada a 1.5 m de profundidad y con una separación de líneas entre 30 y 50 m. Todas las líneas

descargan en un cárcamo de bombeo de concreto, cuya capacidad de almacenamiento es de 38 m³. El bombeo impulsado con energía eólica se hace desde noviembre de 2014, cuando inició el ciclo de siembras otoño-invierno.

Por la cercanía con el mar que tiene el área de estudio, corren vientos de diferente intensidad a lo largo del año, capaces de generar energía para bombear el agua, por lo cual se instaló un molino de viento que incluye una torre de 10 m de altura, una hélice de 18 aspas de 3 m de diámetro y un pistón de 5", y se le dotó de un desagüe de PVC para llevar el agua contenida en el cárcamo, hasta un dren a cielo abierto próximo a la parcela.

Para evaluar el funcionamiento del bombeo, se sembró trigo a fines de diciembre de 2014 y, a lo largo de este año y parte del 2015, se monitoreó la salinidad del suelo, el nivel freático, el gasto del molino de viento, y se evaluó el rendimiento de trigo. Este cultivo tiene la característica de ser tolerante a las sales. Se encontró que la salinidad del suelo disminuyó por efecto de bajar el nivel freático. Es así que antes del bombeo se tenían suelos de tercera clase en la parcela piloto, por su nivel de sales, misma que cambió a primera y segunda clase durante el ciclo del cultivo. El nivel freático se mantuvo por debajo de 0.9, en promedio, adecuado para el buen desarrollo de las plantas de trigo, y el bombeo promedio diario resultó de 16 m³. El rendimiento obtenido fue de 3.7 t/ha de trigo, inferior a las 4.5 t/ha, en promedio, de la región, el cual se vio afectado por lo tardío de la fecha de siembra, ya que desde 2013 se registran temperaturas altas en invierno que causan un déficit en la cantidad de horas frío que requiere el trigo para su buen desarrollo. De acuerdo con las observaciones que se llevan a cabo, se observó que el bombeo influye en la reducción de niveles freáticos y de sales del suelo en una superficie de aproximadamente 41 ha, incluyendo la parcela piloto que queda en el centro geográfico de esta área, única que dispone de drenaje.

La rehabilitación del suelo de la parcela piloto se encuentra aún está en proceso, por lo que la evaluación del bombeo con energía eólica continuará en el próximo ciclo de cultivo otoño-invierno 2015-2016, en el que se planea sembrar trigo.

Resultados principales:

Contar con tecnología dirigida a la recuperación de suelos salinos, a fin de que sean aptos para la agricultura, mediante el uso de energía renovable.

El bombeo con energía eólica está influyendo en la disminución de sales en una superficie de 30 ha, aproximadamente, incluida la parcela piloto que está en el centro geográfico de esta área, y que es la única que dispone de un sistema de drenaje subsuperficial.



- *Metodología para el diseño y elaboración de material didáctico interactivo sobre cultura del agua*

CP 1503.1

Desde el 2008, la Conagua implementa el Programa de Cultura del Agua. En dicho marco, se realizan actividades como la apertura y fortalecimiento de Espacios de Cultura del Agua (ECA); la realización de eventos de difusión educativos, académicos y culturales; el diseño o adaptación y distribución de material lúdico, didáctico o informativo, y talleres o cursos para la construcción o fortalecimiento de capacidades en materia de cultura del agua.

El material didáctico que se utiliza en los ECA no se elabora bajo una metodología acorde con las necesidades del sector hídrico, por lo que es importante sentar las bases teóricas y metodológicas que den sustento a los materiales usados en los diversos ECA del país.

Hasta el momento, se tiene una propuesta de medio electrónico que se titula *El reino de Arturo del Agua*, cuyo propósito es involucrar a los niños y a su familia en el manejo y uso del agua; un planteamiento del problema de investigación sobre materiales didácticos y se trabaja en la redacción del contenido un libro para niños: *Derecho humano al agua y saneamiento*.

Resultados principales:

Contribuir con el sector de cultura del agua del país, mediante una metodología que sustente la elaboración de los materiales didácticos utilizados en los 1 655 espacios de cultura del agua.

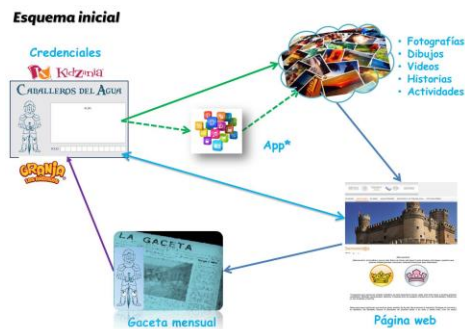


Imagen del medio electrónico titulado *El reino de Arturo del Agua*.

- *Instrumentos de política pública en el ámbito municipal y de participación pública para la implementación de las líneas de acción del Programa Nacional Hídrico 2014-2018*

CP16.3

Como una estrategia global el Gobierno de la República, a través del Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (PNH), ha desarrollado un sólido instrumento para atender la seguridad hídrica, el derecho humano al agua y saneamiento básico y, por ende, el apoyo objetivo y bien sustentado en el mejoramiento integral de la gestión del recurso, incluyendo la prestación de los servicios de agua en los asentamientos humanos y en el campo, con base en el desarrollo de su capacidad de articular en

forma amplia y productiva las relaciones con entidades federativas y, a través de ésta, con los municipios.

Se elabora una guía de reglamento municipal de los servicios de agua potable, alcantarillado, drenaje, tratamiento y disposición de aguas residuales, donde se establecen las disposiciones jurídicas necesarias para la prestación de los servicios, en el marco de cumplimiento del derecho humano al agua y sostenibilidad.

Resultados principales:

Se apoya el establecimiento de bases conceptuales para la provisión de servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado y disposición de aguas residuales.

Además, al interior de la situación actual, deben explorarse las oportunidades que representa la colaboración para la prestación de servicios urbanos asociados con el agua, mediante convenios de coordinación entre los municipios, así como la importancia y pertinencia de crear los reglamentos municipales que los regulen.

- *Coordinación, seguimiento, supervisión, integración y análisis del Programa de Medidas para Prevenir y Enfrentar la Sequía (etapa 3)*
Sin clave

El Programa Nacional Contra la Sequía (Pronacose) consiste en la atención, seguimiento, mitigación y prevención del fenómeno recurrente de la sequía en el territorio nacional. Fue instaurado en 2013 por iniciativa del titular del Ejecutivo Federal. Para su implementación, se elaboró el *Proyecto de coordinación, seguimiento, supervisión, integración y análisis del Programa de Medidas para Prevenir y Enfrentar la Sequía*, el cual consta de seis etapas.

La etapa 3 comprende la estimación de índices de vulnerabilidad económica, social y ambiental, así como el monitoreo de sequía e instrumentación de los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS). Lo anterior, para complementar y dar continuidad a lo realizado en las etapas anteriores.

La etapa 1 consistió en la formulación de los PMPMS para cada uno de los 26 consejos de cuenca del país, con el fin de que sean instrumentos de planeación que permitan la adecuada toma de decisiones en el seno de los mismos. La etapa 2 consistió en la elaboración de los PMPMS para las principales ciudades de México, con el objetivo de que sean instrumentos de planeación que posibiliten la adecuada toma de decisiones en el seno de los organismos operadores de agua potable.

Resultados principales:

Se tendrá un impacto económico y social al contribuir a mitigar los efectos negativos de las sequías en México, mediante la elaboración de estudios de vulnerabilidad, monitoreo de sequía e instrumentación de PMPMS correspondientes a la etapa 3 de 6 del Pronacose. Igualmente, se tendrá un impacto científico al proponer y desarrollar metodologías para el análisis de la vulnerabilidad económica, social y ambiental ante la sequía.

TRABAJOS EN COLABORACIÓN CON ENTIDADES Y MUNICIPIOS

Estado de México

- *Estudio de diagnóstico y planeación integral del organismo descentralizado de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio de Chalco, Estado de México*
HC1516.3

En México, los organismos operadores de los servicios de agua y saneamiento, durante el cumplimiento de sus objetivos, se enfrentan a diversas problemáticas, entre las principales: insuficiencia de recursos económicos; falta de continuidad y planeación a largo plazo; deficiente e ineficiente gestión organizativa (técnica y comercial); marcos jurídico y regulatorio inadecuados; estructuras y niveles tarifarios no acordes con los costos del servicio; politización de acciones, decisiones y programas; baja disposición de pago de los usuarios; endeudamiento excesivo; y rigidez en los esquemas de autorización de tarifas.

Derivado de lo anterior, el Gobierno Federal, a través de la Conagua en coordinación con los otros niveles de gobierno y el sector privado, realizan inversiones regidas por reglas de operación y disposiciones administrativas incluidas en el presupuesto de egresos de la Federación a través de diferentes programas: Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (Apazu); Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (Prossapys); Programa de Agua Limpia (PAL); Programa para la Modernización de los Organismos Operadores de Agua (Promagua); Programa de Devolución de Derechos (Prodder); Programa de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México; Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (Prosanear) y el Programa de Tratamiento de Aguas Residuales (Protar), que les permiten obtener recursos financieros a fin de mejorar su infraestructura, incrementar las coberturas de sus servicios, mejorar su planeación y procesos administrativos.

Atendiendo a las reglas de operación de algunos de estos programas, su aplicación requiere de la elaboración y presentación del denominado Estudio de Planeación Integral (DIP), en el cual radica la importancia del presente proyecto en el municipio de Chalco, Estado de México.

En su desarrollo, se está obteniendo la información base del estudio: recopilación y análisis de la información proporcionada por las diferentes áreas del organismo operador; inspección y caracterización de infraestructura de abastecimiento, almacenamiento y tratamiento; precisión en la medición de sus fuentes o captaciones; consumos per cápita por tipo de usuario; precisión de los aparatos de medición; volumen perdido por fugas de agua en el sistema según muestra, estadística y reportes del organismo; 120 validaciones de lecturas; análisis y discusión de acciones identificadas según el diagnóstico realizado en algunas áreas del organismos operador; análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) con los diferentes departamentos del organismo y estructura e integración de componentes del informe final.

Resultados principales:

Gestión de recursos financieros para acciones del organismo operador; potencial de mejora en infraestructura, planeación y procesos administrativos; Análisis y mejora de aspectos institucionales, organizativos, técnicos-operativos, comerciales, contable-financieros, legales y socioeconómicos, y mejora de la medición a niveles micro y macro.



TRABAJOS EN COLABORACIÓN CON ORGANISMOS NO GUBERNAMENTALES

- *Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores*
HC1507.1

Desde 2005, el IMTA evalúa el desempeño de algunos organismos operadores de agua potable y saneamiento (OOPAS), a fin de identificar y promover acciones para su mejora que les permitan proporcionar un mejor servicio a los usuarios, garantizar su fiabilidad operativa, aumentar su rentabilidad y ayudarles a conservar el recurso agua.

Para ello, el Instituto definió inicialmente 15 indicadores de evaluación, que durante 2005 fueron aplicados a cincuenta OOPAS y, para 2014, se contó con la participación de 155, a quienes se aplicó una batería de 28 indicadores de evaluación.

Para el presente año se espera contar con la información de, al menos, 115 organismos para el cálculo de sus indicadores y así poder obtener las tendencias de la situación que guardan los OOPAS, tanto de su evolución particular como de su posición respecto a los demás. A partir de los indicadores de gestión publicados, cada OOPAS puede diseñar políticas públicas de cobertura del servicio y realizar acciones de mejora o prevención que en el siguiente ejercicio sean verificables. La información de evaluación del desempeño de organismos operadores se publica periódicamente en la página web: www.pigoo.gob.mx, donde puede ser consultada.

En 2014 se logró la participación de 160 OOPAS, con un promedio de indicadores calculados de 48%; estos organismos dan servicio al 48% de la población reportada por el Consejo Nacional de Población (57,371,435 habitantes).

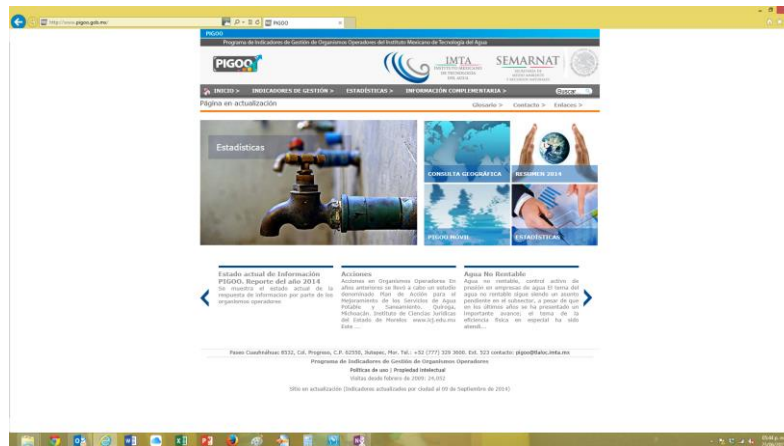
Se invitó a participar a un total de 242 organismos operadores y 27 comisiones estatales.

Al mes de mayo se tiene respuesta de 57 Organismos Operadores. La información proporcionada por estos Organismos Operadores está en proceso de análisis.

Resultados principales:

Con los resultados de este proyecto, cada organismo operador puede diseñar políticas públicas de cobertura de servicio y acciones de mejora o prevención que, en el siguiente ejercicio, sean verificables.

Para el Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y el Programa Nacional Hídrico (2014-2018) es importante dar seguimiento a los avances del subsector agua potable y saneamiento, en especial de cobertura de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, siendo este el objetivo principal del proyecto.



Página PIGOO.

- *Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores*
HC1232.4

El proyecto surge en 2012, como resultado de una solicitud que la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) hace 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 de riego (DR), 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 y otorgados a los mejores en ello.

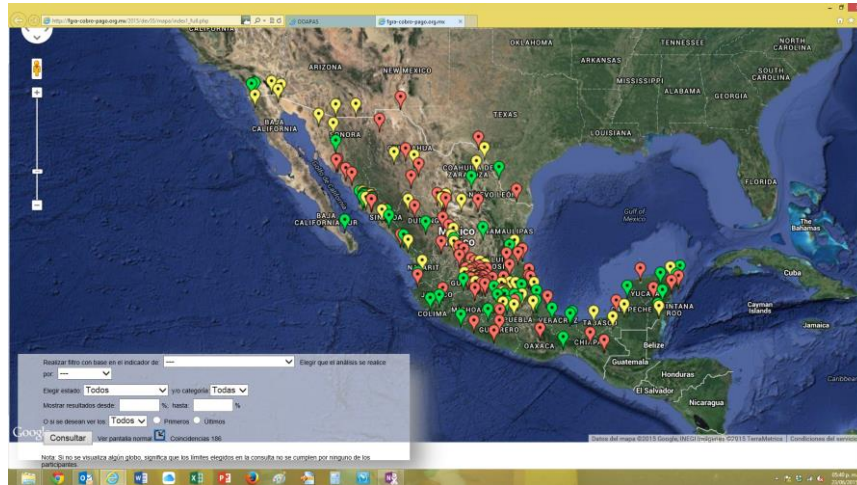
Es así que se establecieron parámetros. En los OO se plantearon seis indicadores de desempeño: tres asociados al esquema hidráulico y operativo de los sistemas de agua potable (eficiencia física, comercial y global); y otros tres comerciales, los cuales están asociados a la autosuficiencia, eficiencia 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: hidráulico (productividad hídrica y producto medio por metro cúbico), y comerciales (autosuficiencia financiera total y parcial).

El proyecto concluyó en su primera etapa (Edición 2013-2015) el pasado mes de marzo y está en proceso la segunda etapa (2015-2018).

Resultados principales:

A partir de los resultados obtenidos, la FGRA cuenta con una herramienta que permite la elección de los OO y los DR que mejor comportamiento hayan presentado para, con ello, elegir a quiénes premiar por su esfuerzo. Por su parte, la sociedad tiene la posibilidad de ver el comportamiento de los indicadores presentados por cada una de las instituciones participantes (hasta la Edición 2015).



Organismos operadores participantes en 2015.

- *Acciones de eficiencia de los Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OAPAS) ribereños*
HC1425.4

Como parte del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, en su cuarta etapa 2014-2017, el IMTA lleva a cabo una serie de acciones complementarias a las realizadas en etapas anteriores en los OAPAS de las localidades de Pátzcuaro, Quiroga, Erongarícuaro y Tzintzuntzan, con la finalidad de fortalecerlos institucionalmente, al complementar y rehabilitar infraestructura de la red de distribución de agua potable y alcantarillado sanitario.

En 2015, el Instituto rehabilitó tres tanques de almacenamiento/distribución, a fin de recuperar agua por fuga que se pierde a causa de fisuras en la infraestructura: dos tanques elevados metálicos en Pátzcuaro y un tanque de mampostería en Erongarícuaro.

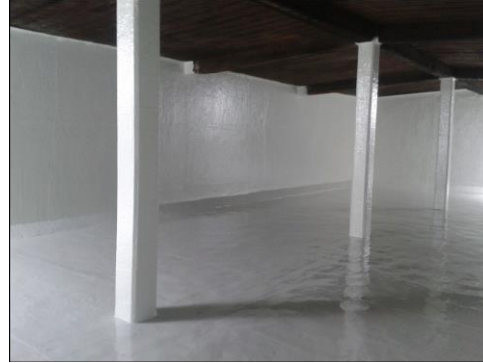
También, se realizó el suministro de 2 600 válvulas limitadoras de caudal (multicierre antifraude) a fin de apoyar la cobranza y reducir el número de usuarios morosos. Con ello, se asegura incrementar la recaudación y capacidad económica para mejorar los servicios que prestan los organismos de Quiroga y Tzintzuntzan; y de 1 600 válvulas para el OAPASQ y 1 000 válvulas para el OAPAS, mismas que fueron instaladas en su totalidad por los propios organismos.

Asimismo, se elaboraron 21 proyectos de rehabilitación y ampliación para los servicios de agua potable y drenaje para los cuatro organismos. Dichos proyectos fueron revisados en enero de 2015 por la Comisión Estatal de Aguas y Gestión de Cuencas del Estado de Michoacán (CEAC) y recomendaron cumplir con ciertos requisitos para estar en condiciones de integrarlos al Programa Operativo Anual.

Al mes de junio del año 2015, ya se tienen atendidas las observaciones de los 21 proyectos, por lo que se está en condiciones para exponerlos nuevamente y, si es el caso, integrarlos a los programas federalizados.

Resultados principales:

El impacto social es de gran relevancia, puesto que se atienden problemas de salud provocados por la falta de infraestructura hidráulica y recursos insuficientes para brindar un mantenimiento adecuado, o bien, a la conclusión de la vida útil de la infraestructura.



Rehabilitación de tanques (metálico y mampostería) con VITROACERO®.

- *Supervisión de Avance de Acciones del Programa de Modernización de Áreas Comerciales de los Organismos Operadores de Lerma, Metepec, Chalco, Loreto y Los Cabos*
HC1461.3

A partir de 2009, Banobras inició la operación del Programa de Modernización de las Áreas Comerciales de Organismos Operadores de Agua Potable (PMCOOA), con el objetivo principal de fortalecer los ingresos propios municipales a través de incrementar la recaudación de los derechos por consumo de agua, mediante la actualización del padrón de contribuyentes y mejoramiento de la eficiencia del Área Comercial.

El IMTA contribuye con asistencia técnica en el PMCOOA. De acuerdo con el Convenio Marco, Banobras solicitó al IMTA el inicio de supervisión de las acciones autorizadas por el Comité Técnico de Fondo de Apoyo a Municipios a los Organismos Operadores de Agua: Loreto y Los Cabos, Baja California Sur, y Lerma y Chalco, Estado de México.

Como resultados se tiene: explotación de capacidades del Sistema Comercial; fortalecimiento y actualización de las funciones del personal de la Dirección de Comercialización; determinación de características de micromedidores adecuados para la ciudad o municipio y verificación de calidad para su adquisición, asesoría técnica en la conformación de las Bases de Licitación y durante el proceso; reingeniería para el levantamiento de lecturas de medidores de consumo; rediseño de procesos de captura, validación y procesamiento de lectura de medidores; implementación de un sistema de control de pérdidas aparentes que garantice la facturación del 100% de los consumos generados; reducción de rezago; fortalecimiento de capacidades de cobro del organismo; diseño de un programa de capacitación para el personal técnico y operativo; cambio de micromedidores de consumo, y mejora de la señalización e información dada a usuarios en oficinas de recaudación.

Resultados principales:

La supervisión de avance en acciones del PMCOOA de Lerma, Metepec, Chalco, Loreto y Los Cabos, se realiza de acuerdo con la Guía de Supervisión y Emisión de Dictamen Técnico de cumplimiento de proyectos de modernización del área comercial de organismos operadores de agua, con cargo al patrimonio del fondo de apoyo a municipios. Las actividades a verificar son diferentes para cada organismo operador y dependen de los alcances que se hayan definido y autorizado dentro del Proyecto Ejecutivo correspondiente.



Modernización de áreas para atención de usuarios.

- *Análisis ecológico de la comunidad de macroinvertebrados de los ríos Bacanuchi y Sonora, Sonora*
TC1506.3

El 6 de agosto 2014 se dio un derrame de sulfato de cobre acidulado en el arroyo Tinajas, Cananea, Sonora, proveniente de la minera Buenavista del Cobre. El proyecto evalúa el efecto ecológico provocado sobre el ecosistema fluvial. Se muestrea en la cuenca impactada y en las paralelas (referencia) para conocer el estado de salud a través de bioindicadores bentónicos (macroinvertebrados).

Los primeros resultados muestran poca afectación en la estructura de la comunidad bentónica; sin embargo, se hacen los análisis de comportamiento hidrológico sobre la posible dilución del contaminante y distancia máxima alcanzada sobre la cuenca, y con ello, el análisis del posible efecto sobre el ecosistema en el siguiente periodo de lluvias. Se propondrá evaluar la bioacumulación y toxicidad en macroinvertebrados y el grado de afectación sobre la red trófica.

Resultados principales:

Se contará con indicadores reales del grado de impacto ecológico y, con ello, de las posibles afectaciones a la salud humana, descartando así efectos adversos no asociados al derrame. Asimismo, los indicadores permitirán enfocar los recursos para disminución de riesgos humanos y ecológicos en las cuencas, y se contará con una herramienta biológica para la gestión y manejo de riesgo en sistemas afectados por las mineras, en concordancia con los sistemas de monitoreo actuales en países desarrollados.



Muestreo sobre el río Sonora.



Muestreo sobre material producto de descargas orgánicas.

- *Diagnóstico freaticométrico y la calidad de agua para riego de palma de aceite en el rancho Polvoxal, Campeche*
RD-1409.3

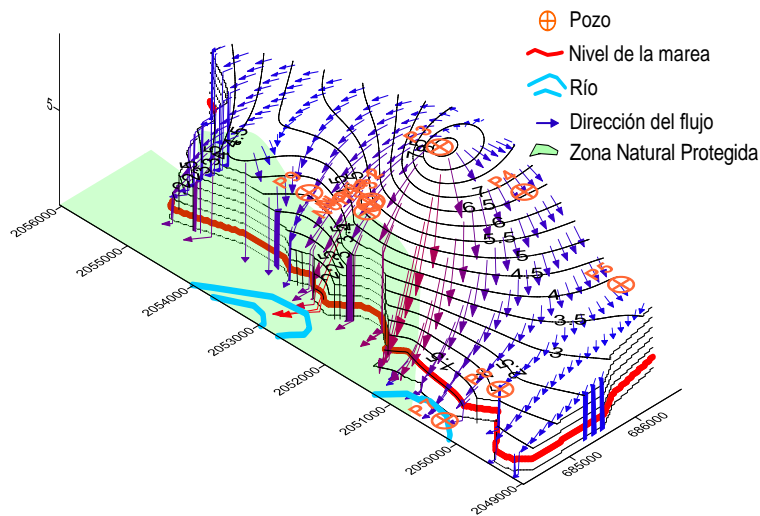
En zonas tropicales o húmedas, como el sureste del país, debido a la intensidad de las lluvias que se presentan en determinadas épocas del año, en algunos casos es necesario drenar y en otra época aplicar riego complementario. En algunos ranchos o parcelas cercanas de la costa, las mareas pueden influir en el grado de afectación del agua superficial que puede utilizarse para el riego o en el suelo, en cuanto a salinidad. Por lo tanto, es necesario determinar la variación del nivel freático y la calidad del agua de riego, tomando en cuenta el efecto de las mareas. En el rancho Polvoxal, Campeche, se localizaron, georrefenciaron (X, Y, Z) e instalaron 11 pozos de observación. Para la medición de la marea, se instaló una escala graduada y se realizaron tres medidas diarias. Se efectuaron dos muestreos de agua en río Candelaria y las muestras se enviaron al laboratorio y se determinaron cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio), aniones (cloro, sulfato, trióxido de carbono y bicarbonato), potencia hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE).

Las principales directrices para evaluar las aguas de riego y freática son la conductividad eléctrica (CE, salinidad), pH, y RAS. En el primer muestreo, los valores de conductividad eléctrica oscilan entre 1.123 y 1.267 dS/m, calidad de leve a moderada; el agua de la laguna de Términos se acerca al valor de moderada (2.599 dS/m); también es aceptada para riego con ciertas restricciones para determinados cultivos.

Para el segundo muestreo, el grado de restricción es leve, debido a que los valores se encuentran entre 0.855 y 0.874 dS/m, por lo que el agua para riego del río Candelaria es aceptada específicamente en todos los sitios muestreados. Se recomienda tomar el agua para riego del río Candelaria para irrigar el cultivo de la palma de aceite de los sitios 3, 4, 5, 6 y 7. El pH del agua de riego varía entre 7.80 y 8.28, comparados con valores aceptados reportados en la literatura, donde se recomiendan valores entre 6.5 y 8.4.

Resultados principales:

El agua freática es de mala calidad, a excepción del P-5 que se encuentra localizado en la zona del proyecto para la plantación de palma de aceite. El agua de riego puede aportar sales minerales como: 571.6 g/m³ de carbonatos, 206.2 g/m³ de dolomita y 134.1 g/m³ de anhídrida (yeso) durante los posibles riegos de noviembre a abril. Se recomienda realizar: balance hídrico para establecer las fechas de riego y de drenado del suelo, instalar pozos de observación en todo el rancho Polvoxal, proseguir con la medición de la profundidad del nivel freático y la precipitación diaria, todo ello con la finalidad de establecer la profundidad, dirección y espaciamiento del sistema de drenaje.



Comportamiento de la marea con la profundidad del nivel freático y dirección del flujo.

- *Implantación, seguimiento y evaluación en 50 000 hectáreas que se incorporan a riego por gravedad tecnificado en distritos de riego de Guanajuato, Sinaloa y Nayarit*
RD1431.3, RD1432.3, RD1433.3, RD1434.3, RD1436.3, RD1437.3

Se han invertido grandes recursos para tecnificar el riego parcelario con la conversión del riego por gravedad a riego presurizado; sin embargo, los avances han sido limitados. En México, más del 90% de la superficie bajo riego se sigue regando por gravedad. Con el apoyo financiero de la Conagua y de las asociaciones de usuarios de riego de varios distritos de riego del país, se implementó el proyecto Riego por Gravedad Tecnificado (Rigrat), que tiene como finalidad mejorar la planeación, diseño y aplicación del riego en el ámbito parcelario.

Los resultados del proyecto en este primer semestre son: seguimiento del riego parcelario en 50 000 ha en distritos de riego piloto de Guanajuato, Nayarit y Sinaloa, durante el ciclo otoño-invierno 2014-15; acompañamiento parcelario con 55 técnicos capacitados para el servicio de riego del programa Rigrat; estimación del uso de agua parcelario detallado en 50 000 ha en términos de lámina de riego, número de riegos y eficiencias de aplicación del riego, y consolidación del servicio de riego parcelario en 31 módulos de riego en ocho distritos de riego piloto de Guanajuato, Nayarit, y Sinaloa.

Resultados principales:

La Conagua ha puesto en marcha el Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado (Rigrat) en distritos de riego piloto del país. Dicho programa tiene como objetivo realizar un uso más racional del agua de riego con una disminución de las láminas aplicadas al incrementar la eficiencia en el ámbito parcelario en 13%, así como incrementar el rendimiento de los cultivos en 10 por ciento.

El Rigrat contribuye al cumplimiento de las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, de manera particular en la meta 4: México próspero, enmarcado en el Objetivo 10: Construir un sector agropecuario y pesquero, productivo que garantice la seguridad alimentaria del país; bajo la Estrategia 4: Impulsar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del país, en la Línea de Acción: Promover la tecnificación del riego y optimizar el uso del agua.



- *Actualización del proyecto ejecutivo de la sobreelevación del Canal Principal Humaya y presa derivadora Andrew Weiss (tercera etapa)*

RD 1516.3

Dentro de los compromisos presidenciales del periodo 2012-2018, se tiene considerada la rehabilitación del Canal Principal Humaya. El IMTA revisó los proyectos y propuso las adecuaciones correspondientes.

Durante 2014, el Instituto trabajó en: 1) recopilación de información de campo, proyectos y estudios previos; 2) levantamiento topográfico a espaciamientos de 20 m; 3) propuestas de alternativas en la sobreelevación de la Presa Derivadora Andrew Weiss; 4) dictamen de seguridad estructural y análisis hidráulico del Túnel El Tecorito; 5) propuesta de reposición de losas y desazolve del Canal Principal Humaya, y 6) adecuación de algunos proyectos para aumentar la capacidad de conducción del canal.

Por la necesidad de contar con proyectos ejecutivos para sobreelevar el canal en 60 km, así como las entradas de agua y estructuras de puentes vehiculares y peatonales, se acordó que el IMTA se responsabilizara de elaborar, revisar y entregar toda la serie de diseños requeridos en el Canal Principal Humaya. Esta responsabilidad técnica en la elaboración de los diseños y proyectos ejecutivos de este canal, se debe a que es un Compromiso de Gobierno y se requiere de personal experto y calificado en la ingeniería civil, construcción y supervisión de la obra, con alta calidad en las decisiones de estructuras, acorde con las necesidades de regar una superficie de 150 000 hectáreas en una de las zonas agrícolas más importantes de México, como es Sinaloa.

Hasta ahora, se tienen entregados proyectos ejecutivos de la rehabilitación de losas y requerimientos de conservación y desazolves en una longitud de 130 km, adecuaciones en la presa derivadora Andrew Weiss, proyectos de transición en la misma para que pueda tener un gasto de 108 m³/s, planos y proyectos de sobreelevación en los primeros 20 km del Canal Principal Humaya, así como proyectos de entradas de agua, sifones y represas.

Resultados principales:

La rehabilitación y modernización del Canal Principal Humaya permitirá conducir caudales superiores a los 90 m³/s, que actualmente permite circular el canal, elevándolos a los 108 m³/s y superiores, hasta llegar a los 120 m³/s, para así servir adecuadamente las dotaciones hídricas que requiere la producción agrícola del valle de Culiacán Humaya y Mocorito, Sinaloa.



Sobreelevación y rehabilitación de losas dañadas.

3. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

- *Operación de los programas de posgrado del IMTA DP1507.1, DP1433.6 y DP0520.6*

Los diferentes programas de posgrado que tiene el IMTA, así como en colaboración con otras instituciones, constituyen el principal punto de formación de personal altamente capacitado que necesita el sector hídrico del país. Este proceso es una actividad que el Instituto ha realizado desde su creación. En primera instancia, con la Facultad de Ingeniería del Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde investigadores del IMTA participan como profesores y tutores en los programas de maestría y doctorado en Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Estos programas son parte del reconocimiento por parte del Posgrado en Ingeniería de la UNAM al IMTA como entidad académica participante.

En 2001, cuando el IMTA se conforma como un Organismo Público Descentralizado y, posteriormente, como Centro Público de Investigación, se mantiene el compromiso de formar recursos humanos altamente capacitados como parte de la misión institucional. El compromiso que tiene el IMTA se observa al crear un programa propio de posgrado de maestría y doctorado en Sistemas Ambientales, Hidráulicos, Hidrometeorología y Gestión Integrada del Agua. Los programas de maestría y doctorado del IMTA, en este año, iniciaron un proceso de mejora continua para buscar un reconocimiento en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

En el programa de Ciencia y Tecnología del Agua se tiene un contrato con fondo sectorial Conagua-Conacyt. Este proyecto inició en 2005 con el fin de formar maestros y doctores en Ciencias Ambientales, Hidrometeorología y Gestión de los Recursos Hídricos.

Durante este semestre se realizaron los cursos propedéuticos de los programas de maestría de los posgrados Ingeniería Civil/Hidráulica, Ingeniería Ambiental/Agua y Ciencias y Tecnología del Agua (áreas participantes de Sistemas Ambientales, Sistemas Hidráulicos e Hidrometeorología), con una participación de 36 estudiantes. En los programas de posgrado se tuvieron dos solicitudes de ingreso al doctorado de Ingeniería Civil/Hidráulica, y cinco solicitudes al doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua de tiempo completo.

En la Dirección General de Profesiones se entregó la carpeta de registro del diseño curricular de la maestría en Ciencias y Tecnología del Agua (2014) y también se entregó la nueva papelería del posgrado; se llevaron a cabo dos exámenes de grado de maestría, y se efectuó la primera sesión de Consejo de Posgrado, con los siguientes acuerdos: conformación de los comités académicos y conformación de los núcleos básicos del posgrado.

En el fondo Conagua-Conacyt se modificó la forma de seguimiento de los estudiantes y comités de evaluación en el Posgrado IMTA. Esto favoreció los procesos de titulación de dos estudiantes de la maestría en Ciencias del Agua, Área de concentración: Gestión Integral del Agua de Cuencas y Acuíferos, y las evaluaciones puntuales de los estudiantes del doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua: Seminario de Investigación (SID) II (Cuarta Generación, 2014-2016) y VII (Tercera Generación, 2013-2015) y Examen Predoctoral, además de contar con formatos de encuesta a recién egresados para evaluar la calidad y pertinencia del programa semipresencial.

Principales resultados:

Ahora se lleva a cabo el proceso de evaluación del Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología del Agua, con el fin de obtener el reconocimiento de Conacyt en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad. Una vez cubiertas las acciones, se puede proceder a

solicitar una evaluación externa, ya sea nacional o internacional, que otorgue al programa del IMTA un reconocimiento como Centro Público de Investigación capaz de formar recursos humanos de alto nivel a través de la calidad y pertinencia del programa académico de la Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua y, con ello, solicitar al Conacyt la evaluación del programa con visperas de alcanzar el nivel Programa en Desarrollo.

Por otra parte, se tiene un mejor seguimiento de los estudiantes de maestría y doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua.



Alumnos de los posgrado del IMTA en los programas Ingeniería Civil/Hidráulica, Ingeniería Ambiental/Agua y Ciencias y Tecnología del Agua.

- *Programa de educación continua y a distancia*
DP-1509.1

Durante 2014, en el IMTA se plantea una manera diferente de conceptualizar, sistematizar, planear, organizar, evaluar e innovar los diferentes programas de formación presencial y a distancia. Este proyecto, desde la perspectiva de la Educación Continua, ha impulsado las políticas que deberán seguir las diferentes áreas del Instituto que oferten capacitación. Con ello, se busca una mejor coordinación y promoción de la imagen institucional para la formación de recursos humanos del sector.

La formación presencial ha sido la más ofrecida por el Instituto. Hoy en día, ante el impulso y acceso a las tecnologías de la información y comunicación (TIC), se impulsa la educación a distancia; sin embargo, las pocas propuestas han tenido escaso desarrollo, por lo que se busca darle un mayor impulso debido a los beneficios potenciales que presenta: rentabilidad, cobertura y accesibilidad, mayor demanda del personal profesional del sector, combinación con sistemas presenciales (*b-learning*), disposición de múltiples recurso multimedia para el aprendizaje y mayor posicionamiento del Instituto como centro formador, entre otras. Este año, se han seleccionado los cursos que conformarán el diplomado Plantas de Tratamiento de Agua Residual.

En cuanto a educación continua, se revisó y validó el documento *Políticas de Educación Continua*, el cual regirá la forma de realizar actividades de capacitación

en el Instituto; asimismo, se firmó la afiliación del Instituto a la Asociación Mexicana de Educación Continua y a Distancia (AMECYD).

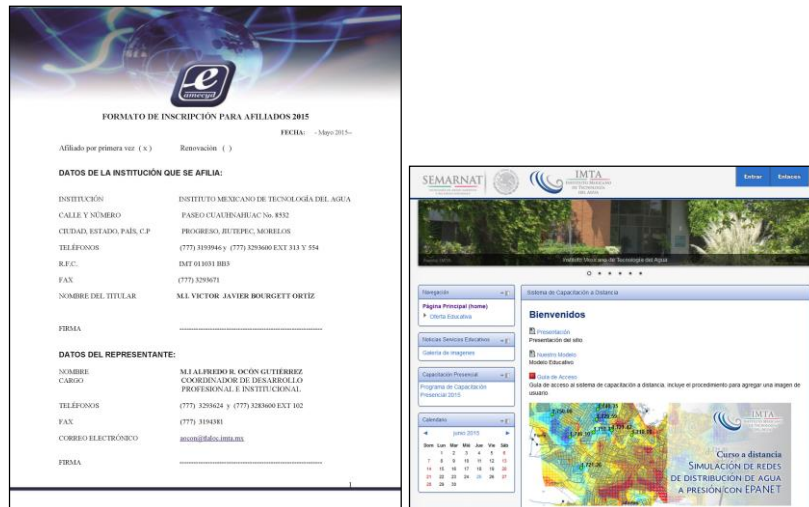
En lo referente a educación a distancia se definieron, junto con el área técnica, los contenidos del Diplomado Plantas de Tratamiento de Agua Residual y se estableció contacto con algunas empresas para fijar vínculos de trabajo que fortalezcan el desarrollo del proyecto a distancia.

Igualmente, se efectúa el curso a distancia *Norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.*

Principales resultados:

La disseminación de conocimiento, transferencias de tecnología e innovación impulsadas por el Instituto mediante acciones formativas, contribuirá al fortalecimiento de las capacidades institucionales del sector. Ello hace posible responder de una mejor manera a las necesidades sociales, problemas ambientales y demandas tecnológicas del agua.

En materia de educación a distancia, en su modalidad *e-learning* y potencialmente en *b-learning* y *m-learning*, innova tecnológicamente en materia de formación de recursos humanos, siendo esta la mística de trabajo del Instituto. Asimismo, la creación de contenidos a distancia permitirá que los investigadores y técnicos del IMTA plasmen y conserven en estos medios tecnológicos sus conocimientos y experiencias, ante del cambio generacional que se observa en el sector. Con ello, se retribuirá a la sociedad la inversión en la formación de estos investigadores.



- *Propuesta de un sistema del sector hídrico para la certificación de personal*
DP1502.1

Las reformas a la Ley de Aguas Nacionales de 2004, incluidas en el artículo 14 Bis 3, otorgan al IMTA atribuciones. Entre ellas, certificar personal para instrumentar el Sistema Nacional de Servicio Civil de carrera del sector agua. Para cumplir con dicha función, el Instituto tomó como base el Sistema Nacional de Competencias

(SNC), que encabeza el Consejo Nacional de Normalización y Certificación, organismo descentralizado de la Secretaría de Educación Pública.

Uno de los problemas enfrentados en la operación del SNC al interior del sector hídrico, tiene que ver con las características específicas de las instituciones y empresas que conforman el sector, debido a que muchas de ellas se relacionan con los gobiernos municipales, estatales y federales. Así, se complica la interacción con ellas y la implementación de mecanismos de consecuencia de manera global para el personal certificado, lo que no siempre representa un beneficio para el personal certificado ni para las instituciones.

También, en muchas ocasiones el personal podrá estar certificado y contar con las competencias para realizar de la forma más productiva una función, conforme a un estándar de competencia (EC), pero no cuentan con la infraestructura, materiales y equipo para ejecutar la función en sus centros de trabajo, tal y como lo indica el correspondiente EC. Ello demerita lo aprendido o la capacidad del personal de la empresa o institución en la que labora. De igual manera, la poca inversión que hacen dichas empresas e instituciones en la certificación y capacitación resulta insuficiente para impulsar un sistema de profesionalización del personal del sector.

Debido a lo anterior, se efectúa una propuesta para crear un sistema de desarrollo de capacidades del personal y de las instituciones del sector hídrico, que considere la evaluación y certificación de las personas y de la infraestructura operativa de las instituciones.

Durante este primer semestre se realizó una búsqueda, en Internet, de los principales sistemas de certificación de competencias y cualificación de competencias en el mundo, con el fin de comenzar el análisis de cada una de ellos y evaluar sus bondades y carencias.

Se han seleccionado cinco sistemas para su análisis, pertenecientes a: Australia, España, Comunidad Europea y Colombia, así como el impulsado por la Asociación de Cuadros de Certificación (ABC, por sus siglas en inglés).

También, se consideran para análisis los sistemas del Servicio Profesional Docente y el Servicio Profesional de Carrera de México.

Por otra parte, se asistió al XI Congreso Internacional sobre el Enfoque Basado en Competencias, CIEBC2015, donde se tuvo referencia de lo que se hace en varios países de Centroamérica y Sudamérica, principalmente en cuanto a competencias educativas a nivel medio superior y superior.

Principales resultados:

Se propone que con la evaluación y certificación de la infraestructura de operación y del personal que la opera, se incrementará la eficiencia y productividad de las empresas e instituciones que prestan servicios relacionados con el agua.



Sistemas considerados para la elaboración del Sistema de cualificaciones del sector hídrico.

- *Desarrollo de capacidades del personal de un organismo operador de agua potable y saneamiento con estándares de competencia laboral DP1501.1*

Para llevar a cabo la certificación de competencias laborales a través del Sistema Nacional de Competencias, el Instituto ha sido acreditado por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación (Conocer) como Entidad de Certificación y Evaluación de Competencias Laborales (ECE). Con base en ello, tiene la facultad para capacitar, evaluar y certificar al personal del sector hídrico, así como para acreditar centros de evaluación y evaluadores independientes.

Actualmente, la ECE-IMTA cuenta con la acreditación de 23 Estándares de Competencia y ha acreditado un centro de evaluación (Baja California), que le ha permitido ofertar y realizar proyectos de capacitación, evaluación y certificación de competencia laboral en organismos operadores del país, universidades y público en general en entidades como Tabasco, Guadalajara, Baja California, Aguascalientes, Guanajuato, Chihuahua, Hidalgo, Colima, Morelos y Morelia.

El suministro de agua potable requiere de procesos competitivos y de calidad que aprovechen los recursos programados para la operación en un organismo operador de agua potable y saneamiento (OOAPS). Estos procesos y servicios deben considerar la infraestructura, equipo, materiales y herramientas adecuados para realizarse y, sobretodo, contar con personal calificado para su adecuada operación.

Los procesos de capacitación y certificación de competencias laborales de los trabajadores en el sector hídrico, como una herramienta para impulsar la productividad de las instituciones, tienen baja credibilidad y, si aunamos además la baja inversión destinada a capacitar y certificar competencias de los empleados, entonces esto limita a que los directivos de los OOAPS no consideren la capacitación y certificación como "actividades de inversión" para mejorar y maximizar el aprovechamiento de los recursos asignados.

Por lo anterior se lleva a cabo una prueba piloto en un OOAPS, que previa evaluación diagnóstica, aterrice en la formación y certificación de las competencias del personal involucrado en funciones previamente seleccionadas con potencial de ahorro, para verificar si las mejoras ocurren al aplicar dichos procesos a través de la medición del impacto en la capacitación y certificación vinculada.

Es este 2015, se solicitó a personal de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS) información relacionada con la iniciativa Cálculo de la Eficiencia Energética y de Ahorro en sistemas de bombeo de agua, que permitiera identificar los posibles OOAPS donde se llevaría a cabo la capacitación, evaluación y certificación de competencias laborales con base en los estándares de competencia EC0153, EC0318 y EC0319, los cuales fueron propuestos para la aplicación de la metodología del proyecto.

También, se seleccionó al Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Atlixco (SOAPAMA) como el organismo donde se aplicaría la metodología de análisis, considerándose también invitar a personal del Sistema Operador de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio Zacatlán y del Sistema Operador de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de San Pedro Cholula, para ampliar el ámbito de aplicación del estudio.

Por otra parte, se seleccionaron algunos indicadores de operación de los sistemas operadores de agua potable y alcantarillado que permitieran identificar el estado actual en consumo de energía eléctrica y en quejas de usuarios de los servicios. Asimismo, se diseñaron y aplicaron instrumentos para conocer la apreciación de los directivos de los OOAPS involucrados, referente a las competencias de su personal.

Se coordinaron y ejecutaron tres eventos de capacitación y certificación con base en los estándares de competencia EC0153 "Atención a usuarios en la solicitud de servicios en entidades administradoras de agua", EC0319 "Vigilancia de la operación de una estación de bombeo de agua potable" y EC0318 "Mantenimiento electromecánico a una estación de bombeo de agua potable", cada uno con la participación de veinte empleados de los OOAPAS, los cuales se celebraron en las instalaciones del SOAPAMA, en la ciudad de Atlixco, Puebla.

Principales resultados:

El presente estudio pretende dar validez a la capacitación y certificación de personal, como una herramienta para mejorar procesos e incrementar la productividad en una institución de servicios de agua potable y saneamiento.



Curso Vigilancia de la operación de una estación de bombeo de agua potable en el SOAPAMA, Atlixco, Puebla.

- *Encuentro Iberoamericano de Educación y Cultura del Agua*
CP1520.2

En el marco de la Cátedra UNESCO-IMTA, el IMTA, la Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua (LA WETnet) y la Red Mexicana de Recursos Hídricos (Remerh) organizaron en 2014, en las instalaciones del Instituto, el I Encuentro Iberoamericano de Educación y Cultura del Agua en la GIRH. Durante tres días se llevaron a cabo cuatro ponencias magistrales, dos paneles de expertos y seis talleres.

Debido al interés generado, el Colegio de México se propuso como sede para el segundo encuentro, cuyo tema principal fue "Justicia Hídrica y Participación Social". Durante el evento, programado en junio, se presentará el libro: *I Encuentro Iberoamericano de Educación y Cultura del Agua en la GIRH*. En 2016 la sede del tercer encuentro será la ciudad de Mendoza, Argentina.

Principales resultados:

Los encuentros contribuyen al desarrollo del conocimiento relacionado con la educación y cultura del agua, en todos los espacios de cultura del agua de diferentes países como Argentina, Brasil, Costa Rica, Ecuador, España y México.



4. PROMOCIÓN Y DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO

- *Edición de la revista Tecnología y Ciencias del Agua*
CP1515.2

Tecnología y Ciencias del Agua (TyCA) es una revista interdisciplinaria de ciencia y tecnología del agua, que constituye la continuidad de las siguientes publicaciones: *Irrigación en México* (1930-1946); *Ingeniería hidráulica en México*, primera época (1947-1971); *Recursos hidráulicos* (1972-1978) e *Ingeniería hidráulica en México*, segunda época (1985-2009).

A partir de 2010 nace *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería hidráulica en México*. La instancia responsable de editarla es el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

El objetivo de TyCA es difundir conocimiento, con aportaciones originales e innovaciones científicas y tecnológicas en los ámbitos de agua y energía; calidad del agua; ciencias físicas, biológicas y químicas; ciencias hidroagrícolas; ciencias políticas y sociales; desarrollo e innovación científica y tecnológica; gestión del agua, hidrología e hidráulica, entre otras disciplinas asociadas con el recurso agua. Esto coadyuva a incorporar al sector agua en la sociedad del conocimiento y fortalece al IMTA como centro de conocimiento del agua en México.

La revista se rige por un riguroso proceso de arbitraje "doble ciego", el cual establece que cada trabajo sea analizado separadamente por tres revisores (dos al menos), quienes recomiendan su aceptación, su aceptación con cambios menores, su aceptación con cambios mayores, su rechazo o su aceptación como nota técnica con las modificaciones necesarias.

El proceso de arbitraje lo llevan a cabo especialistas y expertos de alto nivel de reconocido prestigio nacional e internacional en su ámbito profesional, con la capacidad para evaluar, de manera confiable y expedita, tanto la calidad y aportaciones originales como el grado de innovación científica y tecnológica del material que se somete para posible publicación.

En el semestre, se han publicado los siguientes números, tanto en versión impresa como digital: Vol. VI, núm. 1, enero-febrero; Vol. VI, núm. 2, marzo-abril, y Vol. VI, núm. 3, mayo-junio, y se tradujo la número 1.

Se encuentran 125 artículos en proceso de arbitraje y se ha ingresado a dos nuevos índices: *Scielo Citation Index* y *Cengage Learning* (Informe Académico).

En cuanto a la distribución de artículos en PDF a texto completo, se han entregado 459 a solicitud de usuarios de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, España, Italia, México, Panamá y Perú.

Su página web reporta 35 975 sesiones: 63.24% desde México y 36.73% desde el extranjero. Los diez países que más la visitan son, en orden descendente: México, Colombia, Perú, España, Ecuador, Argentina, Estados Unidos, Venezuela, Chile y Brasil.

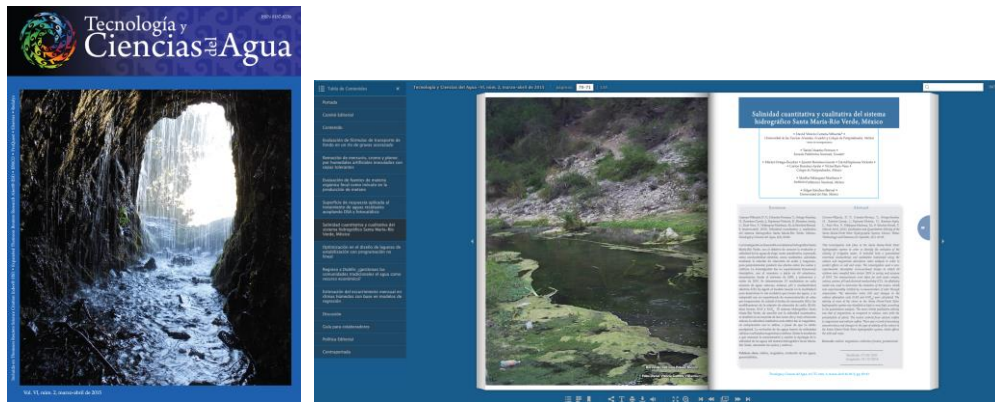
De igual forma, TyCA tiene presencia en Facebook con 804 seguidores, en LinkedIn, con 550 y en Twitter, 57.

Resultados principales:

Su presencia se ha vuelto esencial para los estudiosos, académicos, investigadores, especialistas y profesionales interesados en el análisis, investigación y búsqueda del conocimiento y soluciones de problemas relacionados con el agua en México e Iberoamérica.

Sobresale el alcance internacional de la revista, en cuanto a editores, autores y temáticas desarrolladas, que sobrepasa el campo de la hidráulica.

La presencia en redes sociales ha ayudado a mantener una mejor comunicación con sus autores y lectores.



- *Edición de la revista de divulgación Agua Simple CP1508.1*

El IMTA y el Consejo Consultivo del Agua, A. C. firmaron un convenio general de colaboración, dentro del que se establece como trabajo específico la producción de una revista de divulgación centrada en el agua y dirigida a jóvenes de secundaria y preparatoria.

Derivado de este acuerdo se edita la revista digital de divulgación *Agua Simple*, órgano de comunicación enfocado a adolescentes de entre 13 y 17 años a fin de que amplíen sus conocimientos sobre el agua y el medio ambiente, les brinde apoyo en sus estudios formales y los introduzca de manera entretenida en el mundo de la ciencia y la tecnología. También, como público indirecto, se dirige a maestros y padres de familia.

En lo que va de 2015, se ha publicado número con el tema "Agricultura" y se preparan los números "Agua y el Universo" e "Inundaciones".

En su página web se registraron 17 423 sesiones: 53.53% desde México y 46.47% desde otros países. Los diez países que más la visitaron, orden descendente son: México, Colombia, Argentina, Venezuela, España, Perú, Ecuador, Estados Unidos, Guatemala y Chile.

En cuanto a su presencia en redes sociales, la revista cuenta, en Facebook, con 959 seguidores de México, Colombia, Perú, Argentina, Chile, Estados Unidos, España, Bolivia, Costa Rica y Ecuador; en Twitter, con 242 y 662 impresiones de tweets, e Instagram, con 38 seguidores de 15 a 18 años.

De igual forma, en YouTube tiene 61 suscriptores, con 13 499 visualizaciones desde México, Perú, Colombia, España, Argentina, Chile y Estados Unidos.

Agua Simple ha participado con talleres en el Primer Festival del Agua, al interior del Día Mundial del Agua, en El Carmen, Tequexquitla, Tlaxcala; en la Carrera del Agua, parque Chapultepec, Ciudad de México; en la Expo Ciencias y Humanidades, en el marco del Día de la Tierra, Cuernavaca, Morelos. Asimismo, el número "Agua y Energía" se presentó en las Jornadas Juveniles de la XXXVI FERIA Internacional del Libro, celebradas en el Palacio de Minería.

Resultados principales:

***Agua Simple* presenta a los jóvenes una temática cercana a sus intereses, fácil de comprender y útil para su vida diaria.**

Igualmente, genera alianzas de conocimiento entre escuelas secundarias y preparatorias, docentes, estudiantes universitarios, investigadores del Instituto y otras instancias, empresas privadas, estudiosos y personas interesadas en la temática.

***Agua Simple* no sólo impacta en el interés científico y tecnológico de su público objetivo: los jóvenes; sino que también amplía su mirada a cuestiones culturales como la literatura, el cine y la música.**



- *Programa Editorial y Comunicación Gráfica del IMTA*
CP1506.1

Desde su creación y hasta la fecha, en el IMTA se han editado publicaciones que forman parte de sus actividades sustantivas y estudios sobre el agua, desde varios enfoques y disciplina. Con el mismo propósito, se ha realizado comunicación gráfica para el diseño y diagramación de todo tipo de publicaciones, carteles, exposiciones y eventos institucionales. La producción editorial y la comunicación gráfica del IMTA se han enfocado a diseminar el conocimiento y tecnología que genera el Instituto. En este contexto se crean libros, publicaciones institucionales, se diseñan y diagraman publicaciones impresas y digitales de todo tipo, así como exposiciones, con lo cual se proyecta la imagen y el quehacer de la institución.

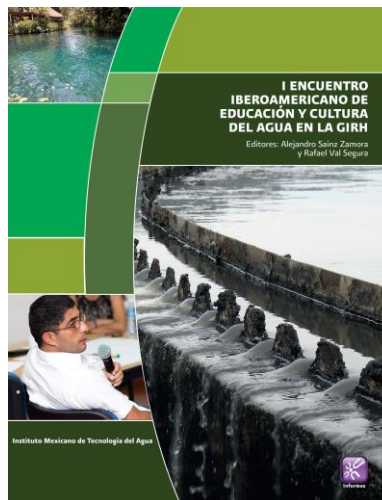
En el primer semestre de 2015 se han editado tres libros: *Vulnerabilidad y adaptación en Yucatán. Un acercamiento desde lo local y con enfoque de equidad de género*, *Control biológico del lirio acuático en México: Primera experiencia exitosa con nequetinos en distritos de riego volumen II y I* *Encuentro Iberoamericano de*

Educación y Cultura del Agua en la GIRH; por otra parte, se tienen listos los originales del libro *Agua en la cosmovisión de los pueblos indígenas de México*, a editarse en la Colección "Biblioteca Mexicana del Conocimiento".

En cuanto a la comunicación gráfica, se hizo montaje de exposiciones y se diseñaron y produjeron carteles, folletos, gafetes, constancias, mantas, *displays*, infografías, animaciones y *banners* para los siguientes eventos: V Seminario de Potamología; IMTA Verde; Día Mundial del Agua. Agua y desarrollo sostenible, y II Encuentro Iberoamericano de Educación y Cultura del Agua.

Resultados principales:

Un libro es un producto del conocimiento que, a su vez, genera conocimiento. Así el IMTA, mediante la edición de libros y el trabajo de comunicación gráfica satisface intereses y demandas de conocimiento de la sociedad con respecto al agua. Con esta producción y distribución de publicaciones, así como con las exposiciones y materia gráfico, se han generado nuevos espacios, tanto en el sector hídrico nacional e internacional como en la sociedad en general, para diseminar conocimiento sobre temas relativos al agua, fortaleciéndose, a su vez, la imagen del Instituto.



- *Administración del Centro de Conocimiento del Agua*
DP 1516.2

El objetivo del Centro de Conocimiento del Agua (Cenca) es gestionar de manera óptima los recursos humanos, financieros y materiales con los que cuenta, para desarrollar y ofrecer servicios de calidad que satisfagan las necesidades de información de los estudiantes y docentes del Posgrado, así como al resto de la comunidad IMTA.

Entre sus principales resultados, se tiene: la suscripción electrónica a cuarenta títulos de revistas científicas; atender las necesidades de información de los usuarios a través de la adquisición, ya sea por compra o donación, de material bibliográfico en formato impreso y electrónico; el establecimiento de convenios de préstamo interbibliotecario con diversas instituciones de educación superior y gubernamentales; atender las solicitudes de los especialistas y estudiantes de Posgrado para la adquisición de artículos científicos; atender a las búsquedas de información requeridas por el personal del Instituto; presentar exposiciones

temáticas en el área de referencia; atender las solicitudes de información publicada en el *Diario Oficial de la Federación*; reorganizar las colecciones de normas y discos compactos del acervo del Cenca; actualizar permanentemente el Repositorio institucional del IMTA; orientar in situ y vía telefónica a los usuarios para la localización de información dentro del sitio del Cenca, y el mantenimiento permanente al sitio del Cenca.

Principales resultados

La adquisición de material bibliográfico actual (libros, normas, publicaciones periódicas, etc.), así como el mantenimiento permanente tanto al catálogo como al sitio del Cenca han facilitado a los usuarios el acceso a sus recursos documentales. De igual manera, se han atendido con prontitud las solicitudes de información que los usuarios realizan a través del servicio bibliotecario en línea, las solicitudes de adquisición de artículos científicos y las búsquedas temáticas.



- *Elaboración de tutoriales virtuales para los programas de Posgrado del IMTA*
DP 1508.1

El trabajo del docente universitario no puede limitarse únicamente a desarrollar los contenidos propios de un programa académico. Esta labor, tan tradicional como cierta, es esencial, pero debe ser superada por los nuevos planteamientos metodológicos y didácticos que exigen una mayor cercanía y relación con los estudiantes. La acción tutorial en la etapa universitaria debe fundamentarse en la búsqueda de integración formativa plena de los estudiantes, en el desarrollo de metodologías y estrategias de estudio y aprendizaje.

Se llevó a cabo una investigación documental para determinar qué tipo de videos eran los más convenientes para apoyar los programas de posgrado del IMTA, se seleccionaron los temas para los primeros videos tutoriales y se escribió la primera versión de los guiones que servirán para realizar los videos, validada por los especialistas.

Principales resultados

Considerando que los materiales didácticos deben fomentar la generación del conocimiento bajo criterios de significación y dinamismo, el cometido de los tutoriales virtuales puede ser relevante si se entiende como una tarea intrínseca a la actividad del docente universitario, capaz de ser el punto de encuentro y dar unidad a dos facetas, que en ocasiones aparecen contrapuestas: la instrucción y la formación.



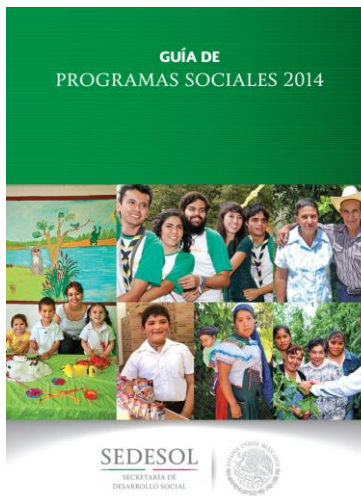
- *Folleto sobre manejo de agua para la Secretaría de Desarrollo Social*
CP1504.1

La Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) tiene contacto directo con diversas comunidades rurales y urbanas en todo el país, y emplea importantes presupuestos para mejorar el bienestar social. El IMTA, como ente investigador, desarrollador o adaptador de tecnología puede aportar a esta Secretaría sugerencias de cómo lograr mayores impactos con esos recursos, en temas de agua, saneamiento e higiene.

Para la elaboración de un folleto, se ha llevado a cabo una amplia investigación documental sobre el tema y se trabaja en temas asociados con la educación y divulgación en comunidades marginadas.

Principales resultados

El IMTA espera que su aportación a la Sedesol, mediante un folleto sencillo pero completo, le facilite a la Secretaría la comprensión y ejecución de programas relacionados con mejoras comunitarias en temas de agua, saneamiento e higiene, de manera que sus presupuestos sean de mayor utilidad para la sociedad y el medio ambiente.



5. COOPERACIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL

La cooperación técnica y científica internacional del IMTA da continuidad a sus acciones para encauzar hacia el cumplimiento del objetivo 6 del Programa Nacional Hídrico. Así, sus actividades en el primer semestre de 2015 se fundamentaron en tres de sus líneas estratégicas:

Consolidar la cooperación técnica internacional en materia de agua con países interesados en la experiencia mexicana

En este primer semestre, se consolidó la colaboración en los proyectos de cooperación a terceros con: la Agencia Japonesa de Cooperación (JICA), con quién se finalizó el *Tercer curso internacional sobre sistemas naturales de tratamiento de aguas y lodos residuales, su reúso y aprovechamiento (segunda fase)*, con asistencia de cinco países de Centroamérica y el Caribe; con la Agencia Alemana de cooperación GIZ, el proyecto *Reúso del agua residual con propósitos agrícolas*, cuyo país beneficiado es Bolivia y, con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), con el Programa de Capacitación *Soil and Water Conservation* (RD-1420.3).

El IMTA participó en este último Programa, dirigido a 25 técnicos de 13 países del Caribe, para impulsar el desarrollo de la agricultura en esta región, realizando capacitación a productores, técnicos, funcionarios, tomadores de decisiones de instituciones del sector agrícola y medio ambiente (RD-1420.3).

Los talleres fueron dirigidos a necesidades específicas y a la transferencia de experiencias para apoyar el mejoramiento de la productividad agrícola, y así obtener mayor impacto en la población agrícola del Caribe.



Visita a la cuenca Guanapo, en Trinidad y Tobago.

Reforzar la relación con organizaciones multilaterales e internacionales líderes en el tema del agua

El Instituto mantiene estrecha relación con la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) a través del Programa Hidrológico Internacional (PHI). Las acciones que dan sustento a ello son el Comité Nacional Mexicano del PHI (Conamexphi) y su participación en las reuniones del Consejo Intergubernamental. Recientemente el IMTA, conjuntamente con el Instituto de Ingeniería de la UNAM, ha propuesto la creación del Centro Categoría 2 de Seguridad Hídrica.

Al interior de la Cátedra UNESCO-IMTA *El agua en la sociedad del conocimiento* (CP1524.2), que inició actividades en 2008 con el objetivo de brindar a la población información relacionada con el agua, se tiene conformada una plataforma de difusión mediante redes sociales, boletines electrónicos mensuales, eventos y seminarios nacionales e internacionales, cursos y talleres, y concursos de fotografía.

En 2015, se organizó el foro *Discutamos la Ley* dentro de un Marco de Gobernanza, con amplia participación de escuelas, organizaciones civiles, académicos, abogados y representantes de gobiernos locales, que sumaron en total a 87 personas. Asimismo,

se coordinó el II Encuentro Iberoamericano de Educación y Cultura del Agua "Justicia Hídrica y Participación Social", en el cual se contó con la presencia de más de cien personas el primer día y 61 en los talleres. Como parte de las actividades de la Cátedra, se distribuyeron seis boletines electrónicos, que llegan a un total de 6 901 personas. En lo que va del año, la plataforma de difusión cuenta con 202,880 visitas, el Facebook con 2,888 seguidores y el Twitter con 3,788.



Incrementar y diversificar la cooperación con países desarrollados y organizaciones internacionales, para consolidar el esquema de sociedad del conocimiento

Dentro de esta línea, se desarrolla el proyecto *Análisis del impacto del cambio climático y variabilidad climática en el recurso hídrico para la planeación de riego de la cuenca del río Yaqui*, con la Universidad de Sydney, Australia.

6. OTRAS ACTIVIDADES RELEVANTES

- *Presentación de la memoria técnica Manejo de Recursos Hídricos en Países de Centroamérica*

Es un trabajo resultado de las misiones realizadas por especialistas del IMTA en cinco países de Centroamérica y el Caribe, como parte del proyecto de la FAO: *Fortalecimiento de la seguridad alimentaria mediante la mejora en la gestión del agua para la agricultura y la mitigación de riesgos*. Este proyecto surge en el año 2009, cuando el Consejo de Ministros de Centroamérica solicitó a la FAO el mencionado proyecto de cooperación técnica. Se hace un reconocimiento de todos los países a la calidad de la asistencia técnica que efectuó México a través del IMTA.

- *Conformación del Consejo Nacional de Cultura Hídrica (CNCH)*

En las instalaciones del IMTA se celebró una reunión con el objetivo de consolidar un grupo especializado con facultad de determinar criterios específicos de trabajo en cultura del agua en términos de calidad, eficacia y eficiencia; además de regular la semántica de cultura del agua, su ámbito de aplicación y alcances, y de establecer elementos teórico-metodológicos de promoción de cultura del agua. En esta reunión se conformó el CNCH con representantes de la Comisión Nacional del Agua, de la Asociación Nacional de Empresas del Agua y Saneamiento, de la Asociación Nacional para una Nueva Cultura del Agua y del propio Instituto.

- *Foro: Discutamos la Ley dentro de un Marco de Gobernanza*

Junto con el Centro de Estudios Demográficos y Urbanos el Colegio de México, funcionarios del IMTA organizaron y participaron en este foro de debate plural entre conocedores del tema del agua, con la finalidad de acercar posicionamientos y plantear conjuntamente el problema, así como las soluciones. El Foro se celebró durante el Día Mundial del Agua y Desarrollo Sostenible, como parte de las actividades de la Cátedra Unesco *El agua en la sociedad del conocimiento*.

- *Renovación del Acuerdo entre la Unesco y el IMTA, como responsable de la Cátedra Unesco El agua en la sociedad del conocimiento*

Se recibió la renovación del Acuerdo por parte del Director de la División de Políticas y Sistemas de Aprendizaje Permanente del Sector Educación de la Unesco, por un periodo adicional de cuatro años (hasta julio 2019).

- *El IMTA, líder en la categoría "Centros de Investigación", en el ranking Iagua*

En el primer semestre de 2015 el IMTA fue reconocido, por segunda ocasión, como líder en la categoría "Centros de Investigación" en el *ranking Iagua*, debido al manejo de contenidos del sector agua publicados en el portal IMTA y redes sociales.

ANEXOS

1. PATENTES Y MODELOS DE UTILIDAD 2015

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 microbiológica.	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	Proceso de tratamiento biológico aerobio de aguas residuales, mediante biocinta sumergida e instalación para su realización (BIOSTAR 1).	Título 308091
11	Método de biofiltración de un efluente líquido.	Título 306035
12	Estructura para disipación de energía y aeración de corrientes.	Título 309388
13	Limitador de gasto para redes de riego a presión.	Título 315201
14	Estructura orientadora de flujo de vertedores de excedencias tipo abanico completo.	Título 322928
15	Modificación a la tecnología de filtración en múltiples etapas para reúso de agua en la acuicultura, con descarga cero.	Título 325064
16	Sistema de calibración para sensores de temperatura (SICAST).	Título 322188
17	Concentrador solar de paredes planas para la desinfección del agua para consumo humano.	Modelo de utilidad Título 2662

18	Biorreactor como planta de tratamiento compacta de aguas residuales municipales con un soporte sintético.	Modelo de utilidad Título 2861
19	Sistema electromecánico portátil para simplificar la medición del flujo de agua en canal abierto.	Modelo de utilidad Título 3065
20	Banco de pruebas para válvulas hidráulicas de compuerta y mariposa 2" hasta 12".	Examen de fondo
21	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
22	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
23	Tratamiento de lixiviados de solución nutritiva y su reúso en cultivos de hidroponia.	Examen de fondo
24	Sistema combinado de biofiltración-humedal para el tratamiento de aguas residuales de viviendas unifamiliares.	Examen de fondo
25	Dispositivo aspersor modificado para riego.	Examen de fondo
26	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
27	Reactor biológico para el tratamiento de efluentes contaminados a base de vermifiltración.	Examen de fondo
28	Caudalímetro ultrasónico de nivel.	Examen de fondo
29	Prueba diagnóstica para compuestos inductores de daños biológicos causados por alteraciones en la expresión genética.	Examen de fondo
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 fondo
31	Utilización de bagazo de agave y de cáscara de nuez en biofiltros utilizados para el tratamiento de líquidos residuales.	Examen de fondo
32	Estación hidrométrica itinerante, auxiliar en operaciones de aforo con molinete.	Examen de fondo
33	Sistema de calibración para sensores de humedad relativa.	Examen de fondo
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	Pluviógrafo ultrasónico de auto-sifonamiento con telemetría.	Examen de forma
40	Caudalímetro ultrasónico de tres niveles con telemetría.	Examen de forma
41	Integrador digital de datos de estaciones hidroclimatológicas convencionales.	Examen de forma
42	Sonda electrónica con corrección por desviación de la vertical.	Examen de forma
43	Sensores inteligentes de temperatura y humedad relativa para estaciones agrometeorológicas.	Examen de forma
44	Banco de pruebas para la evaluación de la conformidad de medidores para agua potable fría.	Examen de forma
45	Método para producir un medio filtrante orgánico activado con basidiomicetos y métodos para su uso en biofiltros para remover moléculas recalcitrantes, color y reducir toxicidad en aguas residuales. Patente divisional.	Examen de forma
46	Estructura de control para drenaje agrícola.	Modelo de utilidad

2. VINCULACIÓN CON CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO Y UNIVERSIDADES (JUNIO 2015)

Proyecto	Institución	Objetivo
<i>Vital and viable services for natural resource management in Latin America</i>	Comisión de las Comunidades Europeas y/o Politécnico Di Bari	Diseminar los resultados del proyecto <i>VIVACE</i> , a través de ponencias y presentaciones en foros internacionales.
Formación de los recursos humanos en los campos del conocimiento en Ingeniería Ambiental/Agua, Ingeniería Civil/Hidráulica	Universidad Nacional Autónoma de México	Fortalecer la formación de recursos humanos en los campos del conocimiento en Ingeniería Ambiental/Agua, Ingeniería Civil/Hidráulica, en lo correspondiente a lo que se imparte en el Programa de Posgrado en Ingeniería de la UNAM, Campus Morelos.
Sistema de registro de datos climatológicos en el estado de Morelos (2013-2014)	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 producto del estado de Morelos.
Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático.	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.

3. CATÁLOGO DE PROYECTOS EN DESARROLLO (JUNIO 2015)

Objetivo 1. Generar, aplicar y transferir conocimiento para incrementar las capacidades de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación del sector agua	
INDICADOR	Transferencia de tecnología = (Número de proyectos con tecnología transferida a un usuario en ejecución en el periodo / Número total de proyectos realizados) * 100 Avance 2015 17% Meta 2018 25%
CA1404.5	Diseño y construcción de un prototipo de reactor con biomasa inmovilizada sobre un empaque sintético móvil para caudales de 2 litros por segundo.
CP1504.1	Desarrollo de un programa de manejo de agua para la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol).
CP1511.1	Estrategias para la adopción social de tecnologías alternativas de agua y saneamiento.
DP1431.6	Modelación numérica de la circulación de la Bahía de Todos Santos, BC, México.
DP1503.1	Análisis económico integral en un sistema hídrico.
HC1427.4	Sistema de captación de agua de lluvia en escuelas rurales.
HC1428.4	Proyecto piloto de sistema de captación de agua de lluvia para riego.
HC1506.1	Desarrollo, operación, adaptación y transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua en el medio rural.
HC1508.1	Estudio del coeficiente de rugosidad de tuberías (etapa 1).
HC1509.1	Adaptación de sistemas de telemetría basadas en Internet satelital, a sistemas de hidrometría
HC1510.1	Estudio de bifurcaciones en ríos.
HC1511.1	Dispositivo para desazolve en presas: modelación experimental y simulación numérica (primera etapa).
HC1512.1	Promoción de la investigación e intercambio de tecnologías apropiadas en materia de agua.
HC1513.1	Guías técnicas para el análisis y diseño de obras y equipos hidráulicos (primera fase).
HC1514.1	Desarrollo de instrumentación y procedimientos de medición aplicados a la observación en campo, que ayuden a controlar o supervisar la situación de seguridad estructural de obras hidráulicas.
HC1519.3	Estudio en modelo físico del funcionamiento hidráulico del vertedor de la presa de almacenamiento Zapotillo, para una altura de 80 metros, en el Río Verde, en los municipios de Yahualica de González Gallo y Cañadas de Obregón, Jalisco.
RD1504.1	Energía renovable para el desarrollo hidroagrícola en microcuencas del sector rural.
RD1505.1	Diseño y aplicación de riego por gravedad.
RD1506.1	Evaluación de sistemas de drenaje parcelario y sistemas de bombeo con energía eólica para mitigar y controlar el ensalitramiento en suelos agrícolas.
RD1507.1	Regulación del régimen de humedad del suelo, mediante la aplicación de riego y drenaje controlados en zonas de riego subhúmedas.
RD1508.1	Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) en ingeniería de riego.

RD1509.1	Estudio y desarrollo de tecnología modular para una agricultura protegida sustentable.				
RD1510.1	Sistema de información sobre extracciones con fines agrícolas en acuíferos.				
RD1511.1	Desarrollo, adaptación y transferencia de sistemas de medición a nivel parcelario.				
RD1518.6	Desarrollo de un sistema modular híbrido de NF y MD, asistido con energía solar.				
TC1355.4	Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria de bebidas alcohólicas (Tequila) (segunda etapa).				
TC1414.6	Investigar y modelar la cantidad y calidad del agua en la región fronteriza México-Estados Unidos de América, con enfoque al control de las descargas de aguas residuales.				
TC1420.6	Impacto de las actividades humanas en la calidad del agua del río Hondo, Quintana Roo.				
TC1443.7	<i>Investigation of the Impact of Arundo donax in México and Evaluation of Candidate Biological Control Agents.</i>				
TC1502.1	Métodos analíticos para determinación de compuestos emergentes en agua (parte 2).				
TC1503.1	Estrategia para potabilización de agua en las cuencas de los ríos Yautepec y Cuautla, Morelos, con un enfoque holístico (segunda etapa).				
TC1504.1	Tecnologías para la remoción de contaminantes emergentes, nutrientes y producción de energía en aguas y lodos residuales para cuencas hidrográficas del estado de Morelos (segunda etapa).				
TC1505.1	Indicadores de integridad ecológica y salud ambiental para las cuencas de los ríos Yautepec y Cuautla, Morelos (segunda etapa).				
TC1514.6	Caracterización de un sistema híbrido conformado por un <i>stack</i> de celdas de combustible microbianas-paneles fotovoltaicos para la producción de electricidad, a través del tratamiento de aguas residuales y radiación solar (primera etapa).				
TC1523.3	Desarrollo y prueba de un mecanismo innovador para potabilización de agua				
TH1447.3	Actualización del estudio geohidrológico del acuífero Tomatlán (1424), Jalisco.				
TH1502.1	Modelación de pozos radiales.				
TH1504.1	Uso de isótopos ambientales y herramientas hidrogeoquímicas para evaluar la contaminación por fuentes naturales, agrícolas y domésticas en el acuífero Cuernavaca.				
TH1505.1	Recuperación de fósforo mediante remoción con adsorbente y recuperación de fósforo inorgánico.				
TH1508.1	Estimación de la humedad del suelo, con base en imágenes de satélite.				
TH1512.1	Operación y actualización del sistema de verificación de pronóstico de lluvia máxima.				
TH1519.6	Dinámica de benzo(a)pireno en medios porosos y su repercusión en la contaminación del agua.				
Objetivo 2. Formar capital humano especializado para la profesionalización y productividad del sector hídrico					
INDICADOR	Capacitación y posgrado = Sumatoria del producto del número de participantes de cada evento por el número de horas de educación continua y posgrado. <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">Avance 2015</td> <td style="text-align: center;">Meta 2018</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">17 730</td> <td style="text-align: center;">45 000</td> </tr> </table>	Avance 2015	Meta 2018	17 730	45 000
Avance 2015	Meta 2018				
17 730	45 000				

CP1503.1	Metodología para el diseño y elaboración de material didáctico interactivo sobre cultura del agua.
CP1519.2	Diseño de metodología y prueba piloto para educación y cultura del agua en instituciones públicas. IMTA VERDE.
CP1520.2	Encuentro Iberoamericano de Educación y Cultura del Agua.
DP0520.5	Maestría y doctorado en Gestión Integral del Agua en Cuencas y Acuíferos, del Posgrado en Ciencias y Tecnología del Agua.
DP1433.5	Maestría y doctorado en Ciencias del Agua, área de concentración Hidrología y Meteorología Operativa, en la modalidad de educación a distancia.
DP1501.1	Desarrollo de capacidades del personal de un organismo operador de agua potable y saneamiento con estándares de Competencia Laboral.
DP1502.1	Propuesta de un sistema del sector hídrico para la certificación de personal.
DP1507.1	Operación de los programas de Posgrado del IMTA.
DP1508.1	Elaboración de tutoriales virtuales para los programas de Posgrado del IMTA.
DP1509.1	Programa de Educación Continua y a Distancia.
DP1519.3	Curso y certificación de la Competencia Laboral denominada "Atención a usuarios en la solicitud de servicios en entidades administradoras de agua".
HC1420.4	Espacios de Educación Ambiental y Cultura del Agua.
HC1423.4	Fortalecimiento a la transferencia de tecnologías apropiadas.
HC1424.4	Seguimiento, transferencia y rehabilitación de humedales artificiales.
RD1232.3	Desarrollo y transferencia de tecnología propia para la operación del módulo Santa Rosa del Distrito de Riego 075, Valle del Fuerte, Sinaloa.
RD1428.3	Capacitación de supervisores técnicos y responsables técnicos, así como del personal técnico y directivos de las asociaciones civiles de usuarios de riego del estado de Sinaloa, para la implementación del proyecto de riego por gravedad tecnificado en 2014.
RD1429.3	Capacitación de técnicos para la implementación del proyecto de riego por gravedad tecnificado (Rigrat) en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.
RD1430.3	Capacitación de técnicos para la implementación del Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado (Rigrat) en el Distrito de Riego 043, Estado de Nayarit.
RD1517.3	Impartición del programa de capacitación en materia de conservación de agua y suelo, y uso eficiente del agua de lluvia y escurrimientos para actividades agropecuarias.
TH1507.1	V Seminario Internacional de Potamología José Antonio Maza Álvarez.

Objetivo 3. Desarrollar instrumentos que apoyen la política hídrica y administración del agua para contribuir a un crecimiento verde incluyente

INDICADOR	Influencia de la investigación y desarrollo tecnológico del IMTA en la política pública y la toma de decisiones del sector ambiental = Número de proyectos vinculados con instrumentos de la política hídrica y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos / Total de proyectos realizados) * 100
	Avance 2015
	Meta 2018
	6.1%
	20%

HC1429.4	Abastecimiento por captación de la precipitación pluvial en una comunidad indígena autogobernada de Michoacán.
HC1461.3	Supervisión de Avance de Acciones del Programa de Modernización de Áreas Comerciales de los Organismos Operadores de Lerma, Metepec, Chalco, Loreto y Los Cabos.
HC1516.3	Estudio de diagnóstico y planeación integral del Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Chalco, Estado de México.
HC1518.3	Supervisión de Avance de Acciones del Programa de Modernización del área comercial del organismo operador de agua de Victoria, Tamaulipas (COMAPA Tamaulipas).
HC1520.3	Diagnóstico y proyecto ejecutivo de modernización del área comercial del Sistema de Aguas y Saneamiento de Acuña, Coahuila (Simas).
HC1590.3	Ingresos propios por servicio de evaluación de medidores.
HC1591.3	Ingresos propios de caracterización de molinetes de particulares y evaluación de equipos.
RD1412.3	Actualización del proyecto ejecutivo de Sobreelevación del Canal Principal Humaya y presa derivadora Andrew Weiss, Sinaloa (segunda parte).
RD1427.3	Nivelación de precisión en circuitos dentro de la zona de hundimientos del Distrito de Riego 014 Río Colorado, BC.
RD1431.3	Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 15 000 hectáreas que se incorporan al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en el Distrito de Riego 010 Culiacán Humaya, Sinaloa.
RD1432.3	Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 5 000 hectáreas que se incorporan al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en los Distritos de Riego 109 Río San Lorenzo, 108 Elota Piaxtla y 074 Mocorito, Sinaloa.
RD1433.3	Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 8 000 hectáreas que se incorporan al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en el Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.
RD1434.3	Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 6 000 hectáreas que se incorporan al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa.
RD1436.3	Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 8 000 hectáreas que se incorporan al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.
RD1437.3	Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 2 000 hectáreas que se incorporan al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en el Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit.
RD1515.3	Redimensionamiento del humedal artificial de flujo intermitente del ingenio Emiliano Zapata.
RD1516.3	Actualización del proyecto ejecutivo de Sobreelevación del Canal Principal Humaya y presa derivadora Andrew Weiss, Sinaloa (tercera parte).
TC1369.3	Asistencia técnica para la licitación, construcción, puesta en marcha y evaluación de una planta a pie de pozo para la remoción de cromo, en el municipio de Tultitlán, Estado de México.
TC1408.3	Selección de trenes de tratamiento e ingeniería básica para potabilizar 26 fuentes de abastecimiento y elaboración de proyectos de seis plantas potabilizadoras en la Comarca Lagunera, Coahuila de Zaragoza.
TC1451.4	Servicios de consultoría al Programa de Protección Ambiental Municipal, México (II).
TC1506.3	Análisis ecológico de la comunidad de macroinvertebrados de los ríos Bacanuchi y Sonora, Sonora, México.

Objetivo 6. Consolidar la cooperación técnica internacional del IMTA en materia de agua				
INDICADOR	Cooperación técnica internacional = Sumatoria de actividades y proyectos de cooperación técnica internacional que se encuentren en desarrollo en el periodo			
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">Avance 2015</td> <td style="text-align: center;">Meta 2018</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> </tr> </table>	Avance 2015	Meta 2018	6
Avance 2015	Meta 2018			
6	7			
CP0925.7	<i>Vital and Viable Services for Natural Resource Management in Latin America.</i>			
CP1126.7	Asistencia técnica para la introducción de tecnologías apropiadas de saneamiento en la operación del Programa Hábitat-Sedesol, Secretaría de Desarrollo Social.			
TC1371.4	Mejoramiento de las condiciones sanitarias en tres escuelas periurbanas con escasos recursos hídricos y económicos en el Estado de México (segunda parte, ampliación).			
TH1506.1	Programa Hidrológico Internacional.			
TH1522.3	Elaboración de documentos de análisis, a partir de los productos de conocimientos del PHI para su difusión en México y Latinoamérica.			
TH1523.3	Acciones de la Conagua en la Agenda Hídrica Internacional 2015.			

4. PROYECTOS CONACYT

Clave	Nombre
HC1233.6	Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana.
TH1519.6	Dinámica de benzo(a)pireno en medios porosos y su repercusión en la contaminación del agua.
TC1420.5	Impacto de las actividades humanas en la calidad del agua del río Hondo, Quintana Roo.
TC1414.5	Investigar y modelar la cantidad y calidad del agua en la región fronteriza México-Estados Unidos de América, con enfoque al control de las descargas de aguas residuales
CA1404.6	Diseño y construcción de un prototipo de reactor con biomasa inmovilizada, sobre un empaque sintético móvil para caudales de dos litros por segundo.
TC1514.6	Caracterización de un sistema híbrido conformado por un <i>stack</i> de celdas de combustible microbianas-paneles fotovoltaicos, para la producción de electricidad a través del tratamiento de aguas residuales y radiación solar (primera etapa).
DP1433.6	Maestría y doctorado en Ciencias del Agua, área de concentración Hidrología y Meteorología Operativa, en la modalidad de educación a distancia.
DP1437.6	Fortalecer y apoyar el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM, y coadyuvar en el desarrollo de los campos disciplinarios de Ingeniería Ambiental-Agua e Ingeniería Civil-Hidráulica, en especial en las actividades académicas desarrolladas en el Campus Morelos del Programa y con las siguientes entidades participantes: Facultad de Química, Instituto de Energías Renovables, Instituto de Ingeniería, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, y Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, en el ejercicio 2015.
DP1431.6	Modelación numérica de la circulación de la Bahía de Todos Santos, BC, México.