

Resultados relevantes

INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN

Acciones de adaptación al cambio climático en los recursos hídricos

El IMTA realiza acciones sinérgicas en el sector para apoyar la generación de conocimientos sobre el ciclo hidrológico y, en particular, contribuir a la reducción de la vulnerabilidad de los recursos hídricos ante los efectos del cambio climático a través de la modelación matemática del clima y la elaboración de estudios de evaluación de este fenómeno sobre el ciclo hidrológico. Para ello, se ha mantenido una estrecha colaboración con diversas dependencias de sector.

En este periodo, se generó un documento técnico-científico que incluye acciones inmediatas de adaptación, considerando la cantidad y calidad de agua disponible en las zonas más vulnerables de México, alineado con los respectivos programas estatales de cambio climático desarrollados en el marco del Programa Especial de Cambio Climático.

Las medidas de adaptación propuestas apoyan los trabajos del sector medio ambiente, en particular, en lo referente al recurso hídrico.

Mediante talleres y participación en foros nacionales e internacionales, se han mostrado los resultados de este estudio estableciendo propuesta de medidas de adaptación a los tomadores de decisión: directores de organismos internacionales (BID, Banco Mundial), CONAGUA, INE, organismos y consejos de cuenca, SAGARPA, entre otros. Cabe mencionar que los escenarios climáticos desarrollados por el IMTA por consenso del Comité Intersecretarial de Cambio Climático, serán los utilizados por

la Quinta Comunicación Nacional de México ante el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la ONU.

Lo realizado hasta ahora permitirá a quienes deciden y a los responsables de planeación en los ámbitos local y nacional, instrumentar acciones y contribuir al desarrollo e implementación de políticas públicas en materia de cambio climático.

Paleotempestología de la región del Caribe: estudio de la variabilidad espacio-temporal de la actividad de huracanes

El estudio de los huracanes es importante en la investigación del cambio climático, en especial aquellos que inciden en el Caribe. Para conocer y caracterizar mejor el impacto de los ciclones tropicales en el último milenio, en 2003 se propuso al Inter-American Institute for Global Change Research (IAI, por sus siglas en inglés) un proyecto piloto de investigación acerca de los huracanes que han afectado en los últimos siglos a las costas de Centroamérica, Caribe y Golfo de México. Durante 2004 y 2005 se formó un grupo de investigadores para la reconstrucción climática de huracanes que iniciaron una colaboración interdisciplinaria y desarrollaron otra propuesta de mayor alcance.

En los últimos cinco años, se ha estudiado la variabilidad espacial y temporal de la actividad de los huracanes en el Caribe a lo largo de múltiples escalas temporales, con intervalos de años a milenios, empleando los prin-

cipios y métodos de la paleotempestología, una reciente disciplina científica que estudia la actividad ciclónica tropical del pasado por medio de técnicas geológicas y de investigación histórica. El IMTA contribuye a analizar diferentes aspectos como son: el forzamiento solar, las condiciones climáticas propicias/adversas para la generación de huracanes a lo largo del tiempo y las influencias de las oscilaciones multidecadales del Atlántico.

Los principales resultados han sido la obtención de la historia climática de los últimos mil años del Caribe, el pronóstico interanual y multidecadal de huracanes, el pronóstico multidecadal El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), el pronóstico solar para las próximas décadas y las velocidades máximas del viento ciclónico.

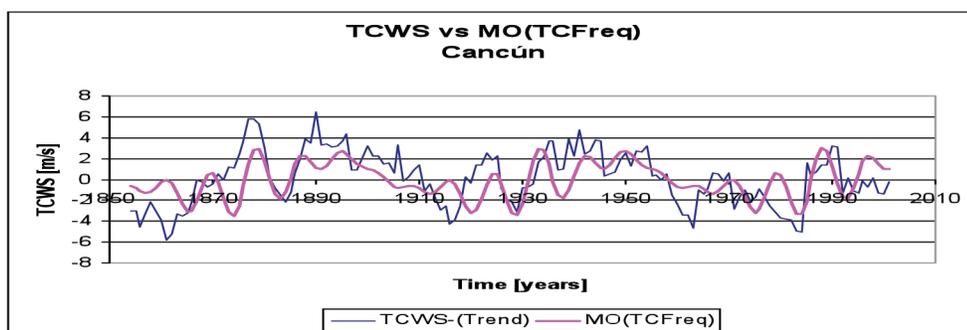
Con ello se ha logrado mejorar el conocimiento de la variabilidad de huracanes en el Caribe, la actualización de las velocidades máximas del viento ciclónico y de las alturas máximas del oleaje ciclónico para el diseño de infraestructura y el establecimiento de una red internacional de investigadores enfocada en el análisis de la variabilidad climática de los ciclones tropicales.

Sin embargo, se requiere continuar esta línea de investigación para identificar los impactos en la disponibilidad de los recurso hídricos en las diferentes regiones de México, cuando se consideren tendencias climáticas actuales como son: a) La tendencia decreciente de ciclones tropicales en el Atlántico, b) la tendencia decreciente de las temperaturas del Pacífico ecuatorial central, que comenzó en 1994 (tendencia del ENSO hacia Niña) y se espera continúe dos décadas más, y c) la tendencia decreciente de actividad solar pronosticada para las próximas décadas.

Punto Nacional de Contacto Sectorial en el Área Prioritaria de Medio Ambiente y Cambio Climático

El objetivo principal de este proyecto es crear una infraestructura de enlace coordinada por el Punto Nacional de Contacto Sectorial (PNCS) en Medio Ambiente y Cambio Climático, que realice y mantenga un mapeo de las capacidades científicas y tecnológicas nacionales. Con ello se busca promover la articulación de Redes de Cooperación Tecnológica con la comunidad científica y tecnológica internacional, empresas, centros de investigación, instituciones de educación superior, cámaras y asociaciones y, en general, actores asociados al tema prioritario de medio ambiente y cambio climático, en particular, con los capítulos en el extranjero conformados por la red de talentos mexicanos en el exterior, auspiciados por el Instituto de Mexicanos en el Exterior de la Secretaría de Relaciones Exteriores.

Entre los principales resultados destacan: actualización y mantenimiento de mecanismos de promoción y difusión mediante la permanencia y actualización del PNCS en el tema de medio ambiente y cambio climático (<http://pncs.imta.gob.mx>); también se actualizó el mapa de instituciones y empresas que trabajan con el tema de medio ambiente y cambio climático, tanto a nivel nacional como internacional. El IMTA, como PNCS en Medio Ambiente y Cambio Climático, ha colaborado de manera muy activa en jornadas informativas organi-



Comparación de velocidades máximas del viento ciclónico reconstruidas en Cancún, QR, y las oscilaciones multidecenales de la frecuencia de ciclones tropicales del Atlántico.

zadas por el Instituto de Mexicanos en el Exterior, con la presencia de los capítulos de mexicanos en el exterior de los cinco continentes, que conforman la red de talentos a nivel mundial. Asimismo, se ha participado en talleres en el tema de Agua, Medio Ambiente y Cambio Climático, dentro del Séptimo Programa Marco de Cooperación con la Unión Europea.

Con lo anterior, el IMTA contribuye a proponer iniciativas de colaboración con extranjeros o mexicanos residentes en el exterior y con expertos dentro del territorio nacional, que trabajen en el tema de medio ambiente y cambio climático, con la finalidad de fortalecer la internacionalización de las instituciones científicas y tecnológicas mexicanas, para generar proyectos de alto valor agregado con un efecto positivo sobre la competitividad, el crecimiento y el empleo en la economía nacional, así como, aprovechar el potencial de la red de talentos mexicanos en el exterior.



Pronóstico meteorológico e hidrológico, incluyendo la relación océano-atmósfera

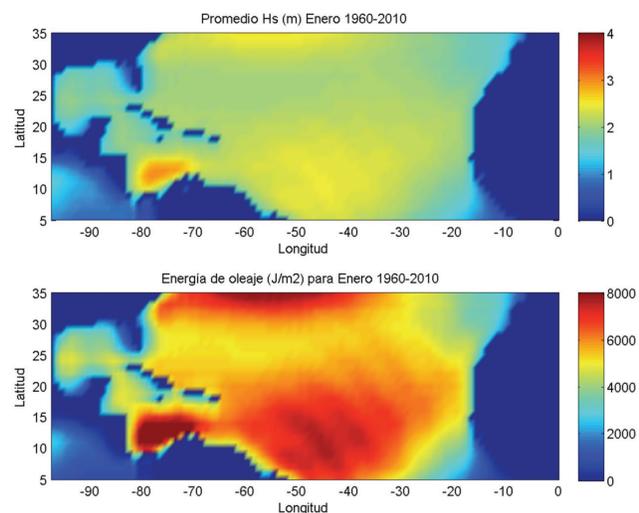
Los modelos numéricos de la atmósfera y del océano han tenido en los últimos años un creciente uso, tanto por su desempeño favorable como por el desarrollo y acceso a nueva tecnología de cómputo. Los modelos de oleaje manejan la fluctuación en tiempo y espacio del oleaje mediante una ecuación de conservación de energía, la cual considera la energía del oleaje, velocidad de propagación y su fuente energética. Los modelos atmosféricos

incorporan la física de los procesos que interactúan en la atmósfera, como son las interacciones topografía-suelo-planta-atmósfera, que han probado ser procesos a los que la atmósfera responde en forma directa e inmediata.

Por otra parte, la física de nubes y termodinámica asociada ha mejorado en cuanto a que nuevas parametrizaciones son incluidas en dichos modelos, trayendo con ello mejores representaciones de precipitación pluvial tanto de lluvia convectiva como de lluvia estratiforme.

En el IMTA se realizan 41 años (1960-2010) de simulaciones de oleaje con el modelo *WAM (Wave Modelling Group)* para determinar las zonas costeras con mayor potencial energético. Se observa que los meses con mayor potencial energético por oleaje en las costas mexicanas son: enero, febrero y marzo, coincidiendo estos meses con la temporada de frentes fríos en el país, sobrepasando el oleaje máximo generado durante la temporada de huracanes. Además, es evidente la relación directa entre la altura de ola significativa y la energía de las mismas.

A pesar que cada vez los modelos numéricos de la atmósfera interpretan mejor la física de los procesos, es evidente que no existe un modelo perfecto; sobre todo en la predicción de lluvia se observan grandes variaciones tanto en los modelos como en las diferentes parametrizaciones de nubes cúmulo. Para el pronóstico de precipitación en las cuencas hidrológicas de México, se determinó utilizar cuatro de los modelos de mayor uso y aceptación a nivel mundial: *GFS, MM5, NAM* y *Weather*



Promedio para el mes de enero de altura significativa y energía de oleaje para el océano Atlántico (periodo 1960-2010).

Research and Forecasting (WRF). Asimismo, se desarrolló un sistema automatizado para descargar diariamente de la NOAA los resultados de los modelos GFS y NAM, así como para que se ejecutaran en los servidores del IMTA (GALIA y GALILEO) los modelos MM5 y WRF. El sistema automatizado genera el pronóstico de lluvia por cuenca hidrológica e incorpora los resultados en el portal web (<http://galileo.imta.mx>). Adicionalmente, durante el proyecto se mejoró la interfaz y los productos publicados en el portal.

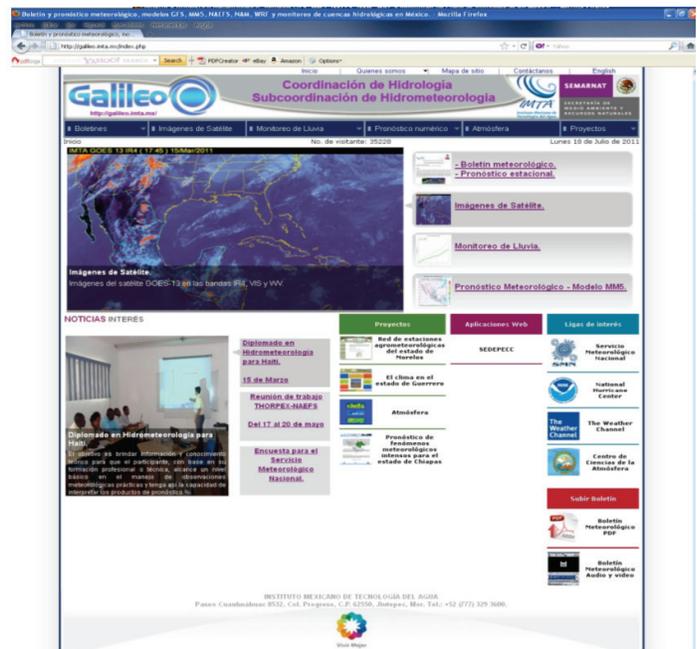
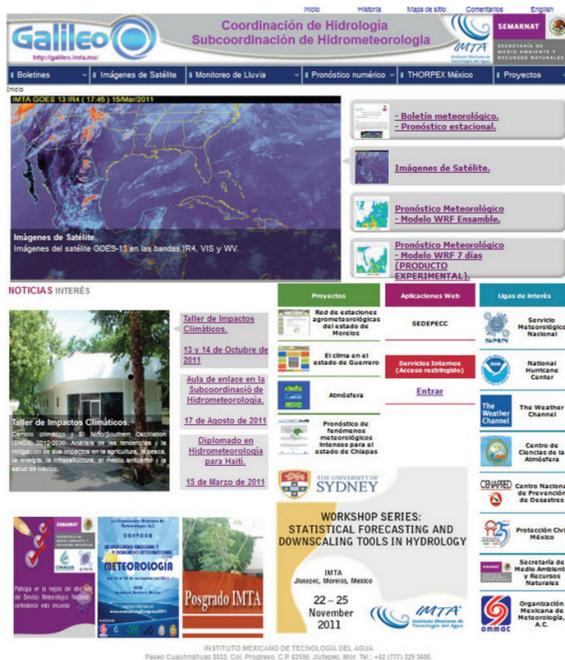
Investigación hidrogeoquímica del arsénico en el sistema acuífero de la Comarca Lagunera

El tratamiento en la zona profunda del agua subterránea ha sido exitosamente aplicado en la remoción de hierro y manganeso. El procedimiento está basado en el bombeo del agua subterránea de un pozo a otro después de la inyección de oxígeno atmosférico. El pozo de recarga puede ser posteriormente utilizado como fuente de abastecimiento de agua. Esta técnica puede también ser aplicada para reducir las concentraciones de arsénico en agua subterránea que contiene grandes cantidades de arsénico y hierro. El Instituto de Manejo de los Recursos

Hídricos de la Universidad Leibniz de Hannover (WAWI, por sus siglas en alemán) desarrolló una tecnología de tratamiento in situ, la cual es aplicable a enlaces orgánicos e inorgánicos de especies arsenicales. Sin embargo, el diseño de una estrategia de remediación in situ requiere del conocimiento de la geoquímica e hidrología del sistema acuífero donde se mueve el agua subterránea y el arsénico.

Los principales resultados a la fecha son: la modelación geoestadística tridimensional con el fin de determinar los estratos más ricos en arsénico y su distribución, sus curvas de isovalores y otros elementos de las muestras de agua subterránea de los años 1991, 2006 y 2010 del acuífero principal de la Comarca Lagunera mediante el programa SURFER. Con ello se determinó la evolución del arsénico y otros elementos en tiempo y espacio, así como el posible incremento con la profundidad.

También, se hizo la modelación geoquímica de los resultados analíticos con los modelos Aquachem 4.0 y PHREEQC-2 para estudiar los procesos geoquímicos, con el fin de encontrar el origen de la contaminación por arsénico y las condiciones adecuadas para el tratamiento in situ. Se obtuvo la matriz de correlación entre los parámetros medidos y calculados, la interpretación de la interacción agua roca y el cálculo de los índices de saturación de minerales seleccionados.



Página principal de <http://galileo.imta.mx>

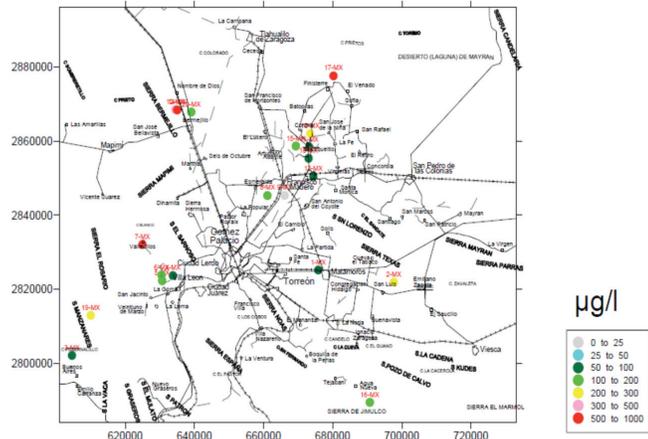
Con base en los resultados de la actividad anterior, se está en proceso de seleccionar los sitios donde sea posible aplicar el tratamiento in situ. Lo anterior será definido de común acuerdo con los investigadores de la Universidad Leibniz de Hannover.

este tipo de estudios, los efectos de escala (sobre todo para grandes presas) y la falta de instrumentación adecuada para medir las velocidades y presiones en el dominio de cálculo, son algunos problemas con los que los modeladores se enfrentan.

Para evitar dicha problemática, se trabaja en una línea de investigación que recurre a la modelación y simulación numérica del vertedor escalonado, adoptando sus dimensiones de prototipo. Hasta ahora, los resultados han sido satisfactorios, ya que ha sido factible visualizar y obtener el comportamiento y los valores de nivel de la superficie libre, así como los de la presión y la velocidad en toda la región de flujo.

En 2011 se realizaron diferentes pruebas numéricas mediante las cuales fue posible reproducir tanto el flujo entre escalones como el rasante en diferentes geometrías de vertedores escalonados. Los resultados permiten establecer criterios para revisar y mejorar el diseño de los vertedores escalonados y, consecuentemente, reducir el número de propuestas de geometría a ser analizadas en modelos físicos. De hecho, la calidad y confiabilidad de la modelación numérica es tal que se podría utilizar para el diseño de este tipo de estructuras hidráulicas y, a partir del mismo, pasar directamente a su verificación en modelo físico. Bajo este escenario, la combinación de la modelación matemática con la modelación física permite reducir los errores por efecto de escala, así como los tiempos y costos asociados con el estudio, diseño, mano de obra, instrumentación y verificación de este tipo de vertedores.

La estructura presentada a continuación corresponde al vertedor de la presa El Zapotillo, Jalisco. Tiene 95 escalones con altura y huella de 1.5 m y 1.25 m, respec-



Distribución de las concentraciones de arsénico en 2010 ($\mu\text{g}/\text{O}$).

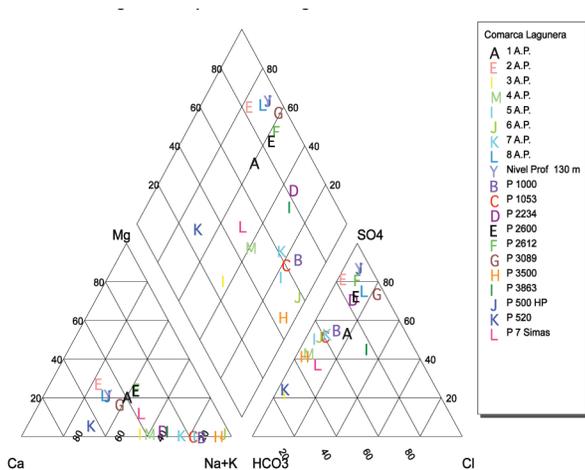
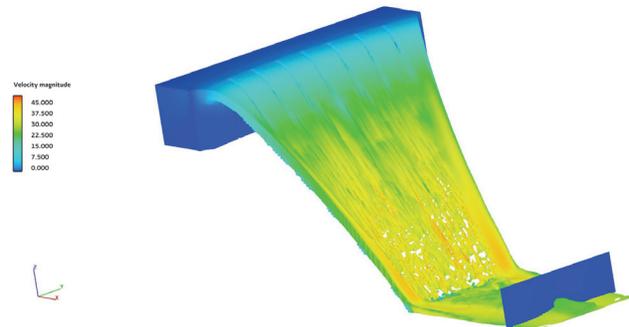


Diagrama de Piper.

Simulación física y matemática del flujo en vertedores escalonados

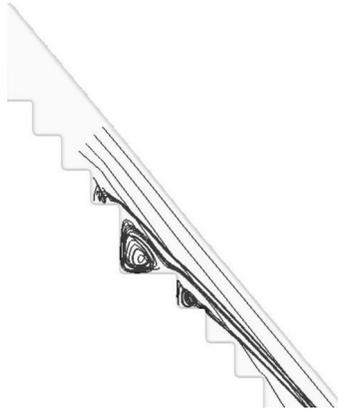
El diseño de vertedores escalonados se ha llevado a cabo mediante el uso de modelos físicos de laboratorio. En



Modelación numérica del vertedor escalonado de la presa el Zapotillo, Jalisco.

tivamente; su rápida posee una longitud de 153 m, su gasto de diseño es de 5,050 m³/s y la carga estimada sobre el vertedor de 6.76 metros.

La simulación numérica se realizó sobre una malla con aproximadamente 150,000 celdas de tamaños 0.25 m x 0.25 m en los ejes x y z, los cuales son paralelos a la huella y altura del escalón. Como condición de frontera aguas arriba, se impuso el nivel de la carga de diseño permanente. Bajo estas condiciones, se utilizaron las dimensiones del prototipo y consecuentemente no se introdujeron factores de escala.



Líneas de corriente dentro de un escalón en rápida del vertedor. Modelación numérica.

Evaluación de dos técnicas emergentes para medir la velocidad del agua en canales y ríos

Los velocímetros portátiles (molinete, velocímetro ultrasónico de efecto Doppler y velocímetro electromagnético), se utilizan comúnmente para determinar el caudal o para investigar la hidrodinámica de canales y ríos. Sin embargo, estos instrumentos deben sumergirse, lo cual no siempre es práctico: en particular, puede ser tardado y peligroso cuando el agua fluye rápidamente. Por lo tanto, resulta a veces deseable contar con técnicas para medir la velocidad del agua a distancia. Bajo este contexto, algunas técnicas están emergiendo desde hace diez años; en el IMTA, se han probado dos de ellas:

- *Velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV)*. Dicha técnica permite determinar un

campo de velocidad en la superficie del agua, mediante la filmación de un gran número de trazadores que siguen la corriente. Para implementar la técnica, se adquirió un programa de cómputo para procesar imágenes (*software "MAT_LSPIV"*) y se probaron distintos tipos de trazadores (confetis, pedazos de hojas, esferas de plástico). También, se compararon en el laboratorio y en el campo los resultados de la LSPIV con datos de velocidad obtenidos de una manera convencional.

- *Radar portátil de efecto Doppler*. En este caso, se trata de un instrumento comercial que se parece a una pistola (*radar gun*) y que emite microondas (en la banda "Ka"); según su fabricante, puede determinar la velocidad de una pequeña zona en la superficie del agua. Para implementar la técnica, se consiguió un ejemplar del radar (modelo "Stalker Pro II SVR"), y se probó su respuesta a distintos ángulos de incidencia. También, se hicieron varias pruebas donde se compararon los datos proporcionados por el radar con datos obtenidos convencionalmente.

Con base en las pruebas realizadas, se concluyó lo siguiente:

- La LSPIV es una técnica muy atractiva cuando se pretende investigar el campo de velocidad en la superficie de un canal; sin embargo, se debe tener un cierto cuidado al momento de elegir el tipo de trazador y durante el procesamiento de las imágenes (que puede tardar hasta una hora).
- El radar probado es de fácil uso; a pesar de que no es preciso en la práctica (incertidumbre de ± 0.2 m/s, para velocidades mayores a 0.4 m/s), puede ser útil para verificar rápidamente datos de velocidad proporcionados por instrumentos convencionales, estimar la velocidad máxima del agua durante una avenida o investigar el comportamiento de algunos vertedores.

Finalmente, debe recordarse que las dos técnicas probadas sólo permiten determinar la velocidad superficial del agua. Sin embargo, bajo ciertas condiciones (al respecto, ver por ejemplo la norma ISO 748: 2007), es factible utilizar esta información para estimar el caudal en canales.

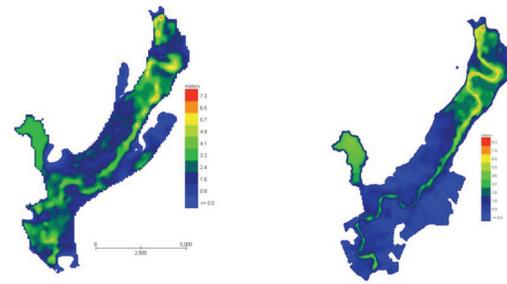


Realización de pruebas con el radar portátil de efecto Doppler.

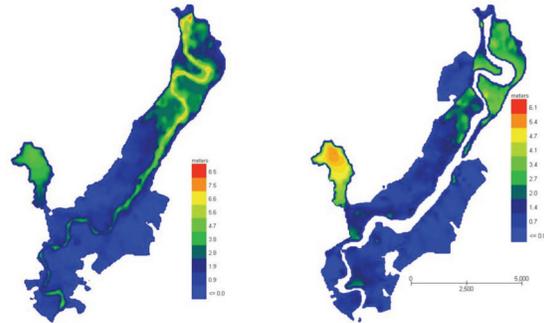
Modelación de los escurrimientos del río Verde, tramo presa Ricardo Flores Magón-desembocadura

Este proyecto da continuidad a los trabajos realizados durante el periodo 2008-2010 en el río Verde Oaxaca, encaminados a establecer las condiciones actuales de los escurrimientos en la parte baja del río, desde el sitio proyectado de la presa Paso de la Reina hasta su desembocadura en el océano Pacífico. En este caso, se analizó la interacción del río Verde con las zonas aledañas inundables, en particular con el Parque Nacional Chacahua y las lagunas Chacahua y El Espejo, y así determinar si dicha interacción se verá impactada con la presencia de la presa en proyecto Paso de la Reina.

Se desarrolló una aplicación del modelo hidrodinámico bidimensional *FLO2D*, utilizando diversos tamaños de malla para la zona baja del río Verde, en el tramo comprendido entre la presa derivadora Ricardo Flores Magón y la desembocadura (utilizando la topografía levantada durante el año 2010). Los resultados muestran la importancia que tiene la adecuada discretización del dominio de cómputo y la calidad de la información topográfica disponible.



Comparación de profundidades máximas para dos tamaños de malla, en el río Verde, Oaxaca, tramo presa derivadora Ricardo Flores Magón-desembocadura.



Comparación de profundidades máximas para dos tamaños de malla, en el río Verde, Oaxaca, tramo presa derivadora Ricardo Flores Magón-desembocadura.

Evaluación de filtros biológicos de arena como sistemas de desinfección unifamiliares en comunidades rurales

Las áreas rurales marginadas de México generalmente no cuentan con sistemas de potabilización de agua, condición que se asocia con los índices de enfermedades y mortandad infantil por infecciones y afectaciones de origen hídrico. Esta problemática plantea la necesidad de buscar alternativas de solución que sean confiables y de bajo costo, tanto en lo que se refiere a su adquisición como su operación y mantenimiento.

La filtración biológica representa una opción, potencialmente accesible y de fácil introducción, transferencia y apropiación. La biofiltración puede llevarse a cabo en medios porosos o granulares, como la arena o la antracita, y a través de medios fibrosos. Tiene la particularidad

de que purifica el agua en una sola operación, lo cual ocurre mediante la sinergia de procesos físico-químicos y biológicos que en el lecho filtrante se desarrollan.

Entre las ventajas de este sistema se enumeran la reducción de microorganismos patógenos hasta en un 100%, ocupa poco espacio, es de fácil operación y mantenimiento, puede aplicarse a cualquier núcleo de población, independientemente del tamaño, y además es un sistema significativamente más económico que los convencionalmente empleados para la potabilización de agua.

Con el fin de profundizar, adaptar e innovar en torno a esta tecnología, como alternativa de desinfección de agua en comunidades rurales, en el IMTA se diseñaron y construyeron dos tipos de biofiltros, uno de base rectangular y otro de forma cilíndrica, de concreto o polietileno de alta densidad. En el caso del biofiltro de concreto, el cuerpo del prototipo rectangular se fabricó utilizando un molde metálico. Los de polietileno de alta densidad (PEHD) se fabricaron en dos formas geométricas: rectangular en placa de 3/8" de espesor y cilíndrico de 10" de diámetro.

Para evaluar la eficiencia de los filtros, se empleó agua proveniente de un sedimentador secundario del proceso de lodos activados. Después del tiempo necesario para la formación de la biocapa (del orden de un mes), el agua fue caracterizada a la entrada y a la salida de los filtros para evaluar el porcentaje de remoción de micro-organismos patógenos. Los prototipos evaluados, tanto de concreto como de polietileno de alta densidad, evidencian un gran potencial de remoción; sin embargo, durante el tiempo de operación (un mes después de haberse formado la biocapa), se alcanzó menos del 90% de remoción de micro-organismos, quedando abajo del 99.9% esperado. A raíz de estos resultados, para 2012 se ha programado una serie de pruebas con periodos



Prototipos rectangulares de cemento (izquierda). Prototipo cilíndrico de PEHD.

de duración mayores, con lo que se tendrá una mejor evaluación e información para emitir una adecuada recomendación sobre su implementación, puesta en marcha, operación y mantenimiento. Cabe resaltar que en la literatura especializada existen reportes de este tipo de biofiltros que alcanzan la remoción esperada, de ahí el interés por continuar con estos estudios.

Pruebas experimentales para el desarrollo de una tecnología de tratamiento de residuos de granjas porcícolas (IMTA-CRIQ)

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

Se instalaron, para operar en condiciones reales, los sistemas combinados de remoción de carga orgánica con procesos anaerobios y pulimento por biofiltración para la remoción de nitrógeno en una granja porcícola de engorda (5,000 cabezas) ubicada en Jojutla, Morelos, el cual funciona de manera continua desde enero de 2011.

Las pruebas de la Planta Piloto Móvil permitieron obtener de manera estable un efluente tratado que presenta una remoción de la demanda química de oxígeno



Planta móvil.

(DQO) del 99%, 98% de los sólidos suspendidos totales (SST), 91% del nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) y 83% del nitrógeno total (NT). El tren de tratamiento ha sido propuesto a varias granjas para ser instalado y coadyuvar en los esfuerzos para la conservación de los recursos hídricos.

Con el desarrollo de un sistema tratamiento de aguas residuales para granjas porcinas, se controla la fuerte contaminación que genera este tipo de agroindustria. Se trabaja en el proceso de transferencia de esta tecnología a la industria.

Vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico

Se diseñó y construyó un vermifiltro a escala piloto para determinar los parámetros de diseño para un sistema a escala domiciliaria. Actualmente, el sistema lleva operando de manera regular seis meses (aclimatación y estabilización) y se observa una remoción del 92% de la DQO y 97% de la DBO. Asimismo, este sistema se probó in situ bajo condiciones reales en la colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, para utilizar el agua residual tratada en el riego de frutales y áreas verdes, en donde las eficiencias de remoción son del 77% de la DQO y 94% de la DBO. Este sistema opera de manera regular desde hace cuatro meses, y se espera que la eficiencia aumente cuando finalice su etapa de maduración.



Prototipo experimental.



Instalación domiciliaria y planta móvil.

Este desarrollo tecnológico consiste en un vermifiltro familiar que se dirige a usuarios que no tienen drenaje, como por ejemplo, comunidades rurales y casas aisladas, y entre sus ventajas sobresale que no utiliza energía eléctrica, no genera lodos residuales y no emana malos olores.

Filtración de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes para remoción de macronutrientes

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

Los contaminantes recalcitrantes son aquellos que, por tener una estructura muy estable químicamente, se resisten al ataque de los microorganismos o de cualquier mecanismo de degradación, sea biológico o químico.

Se comenzaron los trabajos experimentales en prototipos de laboratorio para la investigación del efecto de la granulometría, la carga orgánica y la velocidad de filtración en la remoción de macro-nutrientes de agua residual municipal; el efecto de la relación C/N y la aireación en la remoción de ambos macronutrientes de agua residual agroindustrial, y la remoción por filtración (sobre materiales orgánicos y membranas) de colorantes Azo y aditivos presentes en agua residual de industria textil.

En este sentido, se concluyó la etapa de estabilización de los tres prototipos experimentales para estudiar el efecto de la granulometría. Asimismo, finalizaron las pruebas hidráulicas con el módulo de membrana y se realizó el acoplamiento del biofiltro con el módulo de membrana para el tratamiento de efluentes de la industria textil. Finalmente, se comenzaron los trabajos con trazadores para determinar el tiempo de retención hidráulica de los filtros sumergidos de los biofiltros rociadores utilizados para estudiar el efecto de la relación C/N y la aireación en el tratamiento de agua residual de la industria porcina.

Los beneficios de este proyecto consisten en el desarrollo de conocimiento básico, cuya aplicación se puede

lograr posteriormente, y la capacitación de tres personas a alto nivel.



Prototipo experimental y materiales de empaque del biofiltro.

Residuos de tratamiento de emergentes: remoción de contaminantes emergentes de importancia sanitaria y ambiental; disminución del impacto sanitario y ambiental de los desechos generados

Durante 2009 y 2010 en el IMTA se llevaron a cabo proyectos relacionados con los llamados contaminantes emergentes en agua para consumo humano, se identificaron dos grandes problemas: a) la alta concentración de este tipo de contaminantes presentes en el agua de rechazo que resulta del tratamiento mediante procesos de membrana y, b) falta de información sobre los riesgos ambientales y sanitarios asociados al tratamiento y disposición de estas salmueras o rechazos.

Para abordar el primer problema, a escala laboratorio, mediante fotocatalisis heterogénea para la oxidación de carbamazepina (CBZ), empleando dióxido de titanio inmovilizado sobre vidrio Pyrex, colocado en los tubos de un colector solar parabólico compuesto, se logró oxidar el 97% de la CBZ con tres horas de recirculación bajo radiación solar de entre 600 y 700 W/m² (radiación típica de un día medianamente soleado), por lo que esta metodología podría emplearse en el tratamiento de agua de rechazo conteniendo contaminantes persistentes.

A escala piloto, mediante nanofiltración aplicada en dos fuentes de suministro del Valle del Mezquital, fue posible remover aproximadamente al 90% de sustancias minerales. La remoción de contaminantes orgánicos, osciló entre 60 y 100%, posiblemente debido a la presencia de moléculas neutras de tamaño <200 Da. La ozonación del agua de rechazo (dosis de 0.25 mg/L aproximadamente), fue capaz de degradar materia orgánica, indicada ésta por una disminución del 50% de carbono orgánico total; persistieron contaminantes como los ftalatos que no son fácilmente oxidados por el ozono, en tanto que compuestos tales como el epimanool (utilizado en la elaboración de fragancias) y la isocitronellina fueron oxidados.

Con respecto a los riesgos sanitarios y ambientales asociados con la exposición a contaminantes emergentes a través del consumo de agua, los resultados de la aplicación de las herramientas computacionales de toxicidad (pruebas *in silico*, modelos *Quantitative Structure Activity Relationship*, QSAR), disponibles a través de agencias internacionales, indican que éstas pueden ser integradas a los estudios de evaluación de riesgos cuando no se cuenta con información epidemiológica o de



Vista de la planta piloto instalada en el Cerro Colorado.

estudios en vivo, constituyendo así un soporte conservador para reducir los riesgos sanitarios y ambientales derivados de la continua liberación al ambiente de fármacos, hormonas y productos para el cuidado personal y de uso frecuente.

La nanofiltración es un método confiable para el control de contaminantes emergentes, ya que rechaza un amplio espectro de compuestos orgánicos, algunos cuyo peso molecular es menor que el peso molecular de corte de las membranas, y el consumo energético asociado es hasta un 35% menor que el de la ósmosis inversa.

Análisis técnico y económico de tecnologías para remoción de fluoruros

El flúor es un elemento esencial y componente importante en la estructura de huesos y dientes y está presente en forma natural en el agua de consumo humano. La presencia de fluoruros en el agua potable es benéfica o perjudicial dependiendo de la concentración en la que se presenta. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un valor guía de 1.5 mg/L de fluoruros en agua para consumo humano. Con base en ello, la normatividad mexicana a través de la NOM 127 SSA1-1994 (Modificación del año 2000) establece ese mismo valor como límite permisible.

El consumo prolongado de fluoruros disueltos en concentraciones que exceden este valor puede causar trastornos como: fluorosis dental, fluorosis esquelética y efectos tóxicos como anemia, nefropatías, trastornos gastrointestinales, hiperactividad tiroidea, modificaciones en el metabolismo de calcio, daños cerebrales fetales, daño pulmonar, esterilidad funcional, hipertrofia e hiperplasia en el músculo esquelético y lesiones patológicas en la tráquea.

El IMTA realizó la evaluación a escala laboratorio de tecnologías actuales y no convencionales para remoción de fluoruros en agua para consumo humano. Las tecnologías evaluadas fueron la coagulación con compuestos de aluminio y adsorción en minerales. Los procesos se estudiaron utilizando agua del pozo La Herradura, ubicado en Celaya, Guanajuato, la cual contiene una concentración de fluoruros de 3.0 mg/L.

Los resultados obtenidos con el proceso de coagulación mostraron que se requieren altas concentraciones de sulfato de aluminio, lo que conlleva al aumento de la concentración de sulfatos en el agua, riesgo de obtener agua con concentraciones de aluminio elevadas y alta producción de lodos.

Con estos resultados y con base en pruebas en lotes para determinar la capacidad de adsorción de varios adsorbentes granulares que incluyen: alúmina activada, dióxido de titanio, carbón de hueso y tierra diatomea recubierta con óxidos de hierro, se determinó que el carbón de hueso seguido de la alúmina activada tienen las mayores capacidades de adsorción. Las principales limitantes de este proceso son la necesidad de regeneración del adsorbente, así como el manejo y disposición de soluciones básicas y ácidas producidas en la etapa de regeneración.



Pruebas de adsorción de fluoruros con carbón de hueso a temperatura constante.

Modelación y aporte de sedimentos en microcuencas del lago de Pátzcuaro

El IMTA ha desarrollado, desde hace más de seis años, diversos estudios y obras como parte del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cueva Lago de Pátzcuaro. Específicamente en el proyecto: *Manejo integral para el control de malezas acuáticas, especies invasoras y remoción de sedimentos en apoyo a la recuperación de*

especies emblemáticas y mejora de la calidad del agua del lago, se planteó la modelación y estudio de aportes de sedimentos para, con sus resultados, tener una aproximación experimental de la carga que llega al lago desde distintos puntos de la cuenca.



Medición de caudal y muestreo de sedimentos en el dren Tzurumútaró (cauce perenne).

En los cauces perennes del dren Tzurumútaró y el río Guani, se midió la velocidad, se tomaron muestras de sedimentos en suspensión para calcular el caudal y carga de sedimentos y se extrapolaron con los valores de nivel registrados con sensores electrónicos de nivel de caudal

(*globalwater*). En los cauces intermitentes de Cerritos (HL) e Ichupio (H1 y H2), se construyeron aforadores tipo H y el registro se hizo con sensores electrónicos (*Solinst*). Para ambos tipos de cauces se modeló el caudal contra la carga.

La microcuenca Cerritos, que forma parte de Tzurumútaró y que también presenta extensas superficies agrícolas, muestra valores de sedimentos en suspensión comparativamente más bajos que el resto de la subcuenca. En esta microcuenca están presentes obras de conservación realizadas por el IMTA-Comisión Forestal de Michoacán. En Ichupio, es notable la diferencia en carga relativa de sedimentos interceptados en el canal de aproximación y en el vertedor tanto de la unidad H1 (con obras de conservación de IMTA) como en la unidad H2 (sin obras); casi el doble de sedimentos, en el segundo caso. Sin embargo, llaman la atención los valores de la unidad H2 (Ichupio sin obras), ya que constituye una superficie representativa de la cuenca, con aparentemente buen estado de conservación de la cubierta vegetal que retiene pocos sedimentos.

Resultados para cada microcuenca

| Sitio | periodo | A(Km ²) | pp(mm) | Q anual (m ³) | ton/año | ton/ha/año |
|-----------------------|-----------|---------------------|----------|---------------------------|----------|------------|
| Tzurumútaró | 2007-2011 | 144.873 | 1,455.00 | 16,420,000.00 | 7,734.00 | 0.53 |
| Guani | 2007-2011 | 55.355 | 724.77 | 589,374.37 | 70.14 | 0.01 |
| Cerritos | 2007-2011 | 1.63 | 781.65 | 154,553.34 | 38.64 | 0.24 |
| Ichupio H1 (con obra) | 2007-2011 | 0.10343 | 777.13 | 50.04 | 18.02 | 1.74 |
| Ichupio H2 (sin obra) | 2007-2011 | 0.18865 | 725.28 | 28.27 | 187.13 | 9.92 |



Vertedor de Cerritos (HL) y vertedores en Ichupio H1 (con obras), H2 (sin obras). Muestreo de sedimentos y sensores electrónicos (cauces intermitentes).

Módulo de información geográfica G-InvIH del Sistema de Información de Campo y Administrativa para Módulos de Riego

El G-InvIH es un sistema de información geográfica que incorpora una base de datos de redes de canales, caminos y drenes en conjunto con la infraestructura hidroagrícola. Incluye pozos, equipos de bombeo y distribución de tubería interparcelaria. Respecto a la red de canales y drenes, el sistema concentra información topogeométrica, mientras que para la infraestructura de control, protección, distribución y medición, integra elementos geométricos e hidráulicos para caminos e incorpora información de material y geométrica. Dicho sistema es un componente del ICAM-Riego (Información de Campo y Administrativa para Módulos de Riego), desarrollado por el IMTA.

El sistema permite el trazo de redes de canales, caminos y drenes sobre la imagen de satélite, o bien con apoyo de un GPS (sistema de geoposicionamiento) y un programa de captura de información geométrica y fotográfica georreferida en computadora de bolsillo. Es a través de archivos como se inserta la información sobre la base de datos y la imagen de satélite. Una vez elaborada la base de datos, el sistema permite recorridos virtuales de infraestructura en imagen de satélite y fotografía panorámica; además, exporta la información a sistemas de información geográfica comerciales.

El sistema genera y actualiza el inventario de la infraestructura hidroagrícola georreferenciada que permite a las asociaciones de usuarios y a la CONAGUA planear mejor la conservación y operación de dicha infraestructura. Además, con la información topogeométrica, el Sistema de Conservación (SIS-CON) calcula las necesidades de conservación normal, conceptos y cantidad de obra y permite la supervisión remota, mediante tecnología GPS. El sistema G-InvIH se transfirió a las tres asociaciones de usuarios del Distrito de Riego 023, San Juan del Río, Querétaro, que cubren una superficie de 11,500 ha, lo que permitió actualizar el inventario de infraestructura y renovar los títulos de concesión.



Aplicación del sistema G-InvIH en el DR 023, San Juan del Río, Querétaro.

Plan Hídrico de Gran Visión en la cuenca de los ríos Amecameca y La Compañía

La cuenca de los ríos Amecameca y La Compañía constituye uno de los territorios más poblados del país, con una población aproximada a 1,500,000 habitantes que ejercen una gran demanda de agua y en la que se ha diseñado infraestructura para el transporte de aguas residuales cuyo destino final es el Valle del Mezquital, en Hidalgo.

Los ríos Amecameca y la Compañía, que conforman la subcuenca, nacen en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Esta cuenca se ubica al oriente del Valle de México, y se extiende a lo largo de 13 municipios del Estado de México y tres delegaciones del Distrito Federal.

En la cuenca, el acuífero está sobreexplotado, con lo que se encuentra en condiciones de extrema escasez hídrica, además se presenta contaminación de los afluentes y cuerpos de agua debido a la descarga de aguas residuales generadas en las casas de las comunidades (menor grado) y poblaciones (mayor grado), aunque también es factor importante el aporte de la industria que tiene una fuerte actividad en este territorio. Por ello, el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México solicitó al IMTA elaborar un Plan Hídrico de Gran Visión como instrumento para impulsar el desarrollo de esta región.

En este contexto, el Instituto desarrolló un Sistema de Información del Plan Hídrico de Gran Visión (SICRA-Com) en el que se concentra, organiza y clasifica la información generada del Plan, y servirá como herramienta para facilitar el flujo e intercambio de información entre las distintas entidades involucradas, con lo que se facilitará el análisis de la información y servirá como soporte para la toma de decisiones a nivel gerencial.

Asimismo, de forma participativa con los principales actores de la cuenca, se desarrolló el Plan Hídrico de Gran Visión, el cual plantea como objetivo central el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la cuenca. Para ello, se identificaron los siguientes seis objetivos estratégicos: 1) educación ambiental en la cuenca, 2) gestión de los recursos hídricos, 3) manejo de los recursos forestales, 4) contar con infraestructura, 5) controlar los asentamientos humanos y 6) disminuir la contaminación del agua.

Finalmente, para estos objetivos estratégicos se identificaron los proyectos específicos que permitirán impulsar el desarrollo sustentable de la cuenca y cuyo monto asciende a 4,790 millones de pesos aproximadamente.



Crecimiento de la mancha urbana en la cuenca.

Rehabilitación de la cuenca del lago de Pátzcuaro

Se continuaron las acciones para controlar la erosión hídrica y la producción de sedimentos en la cuenca del lago de Pátzcuaro. En específico, en la microcuenca

Ichupio, municipio de Tzintzuntzan, se construyeron 59 represas filtrantes para control de azolves, construidas con gavión, piedra acomodada y geocostales, equivalente a 1,500 m³, que retendrán aproximadamente 18,000 m³ de azolves. Asimismo, se hizo la estabilización de taludes en cárcavas mediante barreras vivas al contorno empleando 830 arbolitos de pino y se excavaron 1,500 tinajas ciegas o zanjas de infiltración en 3 km, con lo cual se espera infiltrar 600 m³ de agua de lluvia.

Se realizaron acciones de recuperación forestal mediante la reforestación de 535 ha, bajo la modalidad de reforestación en cepas. También, se efectuó reforestación en linderos agropecuarios en forma de cercos vivos con 11,080 árboles de cedro blanco y colorín en predios de los cuatro municipios ribereños. De igual forma y con el objetivo de protección de cauces y riberas en embalses, se plantaron 920 árboles de sauce azul o sauz en el municipio de Erongarícuaro, comunidades de Arocután y Tocuaro.

Todas las actividades de campo se realizaron con la participación de los productores locales, generándose 8,800 jornales de empleo temporal.



Represa de control de azolves funcionando, Crucero de Chapultepec, Pátzcuaro.

Gobernanza del agua

Durante las dos últimas décadas, los conceptos de gobernabilidad y gobernanza han aparecido en la gestión integrada de recursos hídricos y, en un marco más general, han sido relacionados con el ambiente. Así, algu-

nas agencias internacionales han referido el concepto de gobernanza o gobernabilidad, en idioma inglés, sin que haya habido una traducción eficaz del término al español, sobre todo en el significado y en sus referencias. El IMTA propuso el desarrollo de un documento cuyo objetivo principal fuera presentar un panorama sobre la gobernanza del agua en México, que incluyera los temas sustanciales desde las ciencias sociales y que reflejara la multidimensionalidad de este enfoque.

En él se da cuenta de los conceptos de gobernanza y gobernabilidad del agua; los problemas del traslado del concepto a la aplicación; las reformas y la gobernanza en el sector agua; gobernanza del agua y género; gobernanza del agua y asociaciones de riego; gobernanza urbana del agua; gobernanza y gestión del agua; gobernabilidad en territorios indígenas; gobernanza del agua y participación social.

Esta investigación contó con la participación de 53 autores nacionales e internacionales que expresaron su opinión, según su experiencia, sobre algunos temas específicos acerca de la gobernanza del agua.

Vulnerabilidad social y construcción de capacidades para la adaptación al cambio climático. Una propuesta con enfoque de género en Yucatán

A través del fondo SEP-CONACYT Ciencias Básicas, el IMTA y la Universidad Autónoma del Estado de Yucatán conducen este proyecto multianual en la península de Yucatán, cuyo objetivo es diagnosticar los factores sociales, económicos, ambientales, organizacionales y de género que determinan la construcción de la vulnerabilidad social y diseñar una estrategia que difunda los riesgos de desastres entre pobladores locales, a fin de reducir la acción de factores detonadores de desastres naturales.

Durante 2011 se definió la propuesta metodológica, el marco conceptual y contextual sobre aspectos de vulnerabilidad social y cambio climático en México, así como el diagnóstico situacional y un análisis de capitales de las comunidades estudiadas, basándose en la

metodología de medios de vida. Con el fin de conocer las características y las percepciones de las personas que habitan la costa del estado de Yucatán, se realizó trabajo de campo, con la aplicación de encuestas en cuatro comunidades representativas de esta región: las cabeceras municipales de San Felipe, Celestún e Ixil; y Sisal, localidad del municipio Hunucmá.

Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas, en donde se profundizó en el análisis de los tópicos abordados en la encuesta, con el objetivo de obtener información cualitativa y triangular los datos obtenidos. Estos instrumentos de recolección de información sirvieron para elaborar un Índice de Vulnerabilidad de los Capitales de la Comunidad, el cual permite de manera sintética y directa conocer la fortaleza o debilidad del conjunto de los capitales que poseen las comunidades estudiadas.

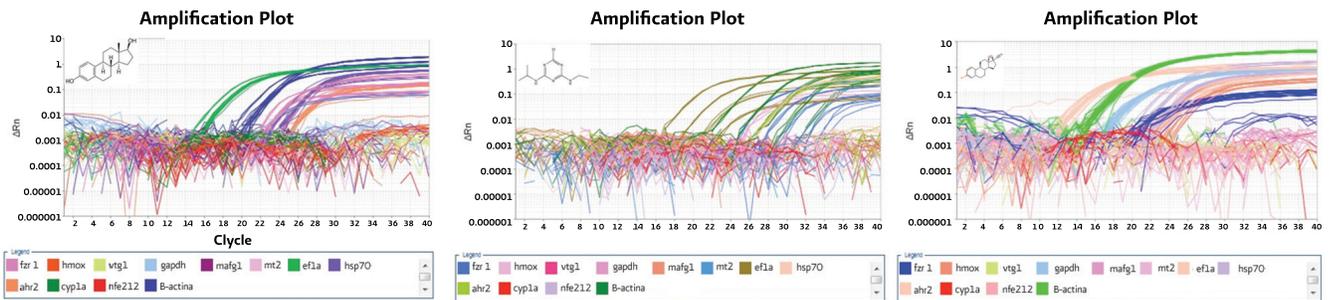
Los impactos de este proyecto apuntan a conocer las debilidades y fortalezas de las comunidades estudiadas, fortalecer las capacidades de las mismas a través de procesos de comunicación y participación, y contar con acciones definidas de adaptación social al cambio climático en el mediano plazo.



Levantamiento de información en las comunidades seleccionadas de Yucatán.

Identificación de efectos tóxicos por compuestos orgánicos emergentes y detección de enterobacterias

Se implementó la metodología *Polymerase Chain Reaction* (PCR) en tiempo real y de procesamiento de muestras para evaluar cambios en la expresión genética. Se seleccionaron nueve genes (*cyp1a*, *fzr1*, *ahr2*, *hmx*,

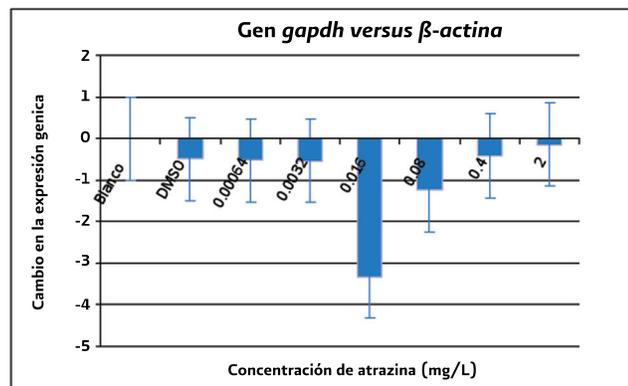
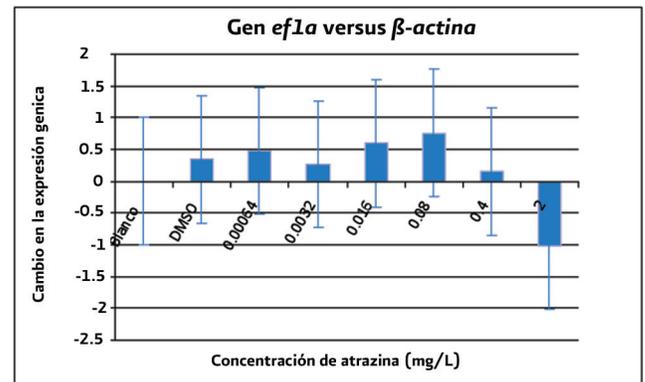
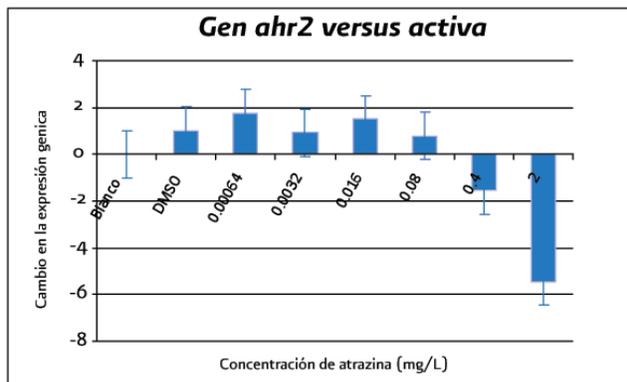


Curvas de validación correspondientes a atrazina, estradiol y 17 α -etinilestradiol.

hsp70, *maf1*, *nfe212*, *vtg1* y *mt2*), cuya expresión se inducía frente a diferentes contaminantes ambientales, a partir de reportes en los que se evaluaba a nivel genómico la expresión de más de 20,000 genes del pez cebra. Se realizó la validación de la metodología para evaluar la expresión relativa de genes utilizando los embriones del pez cebra empleando tres contaminantes considerados como emergentes (el herbicida atrazina y las hormonas estradiol y 17 α -etinilestradiol).

Si bien varios reportes proponen que los embriones del pez cebra pueden funcionar como detectores de con-

taminantes en agua, los resultados de esta investigación sugieren que el modelo puede ser inadecuado debido al poco nivel de diferenciación tisular del mismo, lo que puede explicar la falta de expresión de algunos de los genes evaluados cuando se analizan muestras con cortos periodos de exposición, lo cual no ocurre cuando el modelo se expone durante un tiempo suficiente como para que alcancen la etapa de alevín, fase de desarrollo que muestra una mayor diferenciación tisular, fenómeno asociado con la mayor actividad transcripcional del genoma del pez.



Curvas de cambio de expresión relativa debida a atrazina.

Además, se elaboraron los métodos para cuantificar las enterobacterias *Salmonella entérica* y *Escherichia coli* por la técnica de PCR. Se publicó un artículo de divulgación denominado “Aplicación de la reacción en ca-

dena de la polimerasa (PCR), para determinar el riesgo ambiental causado por compuestos disruptores endocrinos”, en la página ATL el Portal del Agua desde México (<http://www.atl.org.mx>).

Aplicación de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), para determinar el riesgo ambiental causado por compuestos disruptores endócrinos

Jueves, 05 de Enero de 2012 14:21

Sandoval-Villasana A.M., Cervantes-Dacasa F.R., Medrano-Baca M.G., González-Sánchez A. y Hernández-Romano J.

Existe una considerable inquietud sobre la presencia de compuestos disruptores endócrinos (CDE) en el ambiente. Ejemplo de ello son sustancias naturales o creadas por el ser humano que interfieren con el sistema endócrino de los vertebrados.

SEMINARIO 2011
Agua y sociedad del conocimiento: enfoques sobre gobernanza y políticas públicas del agua

Ultimas noticias
Hasta marzo inicia el monitoreo del agua
CUENCA Comunal