

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Informe anual

doi.org/10.24850/i-imta-2021-01

2021



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Informe anual

2021



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
---------------------------	----------

RESUMEN EJECUTIVO	6
--------------------------------	----------

AGUA Y GOBIERNO	8
------------------------------	----------

Plan de Justicia para el pueblo Yaqui.....	9
--	---

Plan para la Atención Integral de Cananea.....	10
--	----

Atención de problemas hídricos en las islas Marías.....	13
---	----

Apoyo a acciones prioritarias del Gobierno federal.....	14
---	----

AGUA Y SOCIEDAD	16
------------------------------	-----------

Atlas de calidad del agua en México.....	17
--	----

Identificación de contaminantes orgánicos en Campeche.....	19
--	----

Planta de tratamiento de aguas residuales domiciliarias y reutilización.....	21
--	----

Derechos humanos, organizaciones locales y agua en México.....	22
--	----

AGUA Y PRODUCTIVIDAD	24
-----------------------------------	-----------

Intervención estratégica participativa en los Valles Centrales de Oaxaca.....	25
---	----

Plataforma web informativa sobre usos del agua en la agricultura nacional.....	26
--	----

Riego por gravedad tecnificado en los distritos de riego de Sinaloa.....	28
--	----

Nexo agua-energía-alimentos.....	30
----------------------------------	----

AGUA Y AMBIENTE	32
------------------------------	-----------

Actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021: hacia una mejor calidad en los cuerpos de agua.....	33
--	----

Revisión de manifestaciones de impacto ambiental.....	34
---	----

Humedal electroquímico para tratamiento de aguas domésticas.....	35
--	----

Calidad del agua en lagunas con actividad pesquera.....	36
---	----

IMTA TRANSVERSAL	38
-------------------------------	-----------

Proyectos Conacyt.....	39
------------------------	----

Bosque de Chapultepec: diagnóstico y propuestas para la gestión de los recursos hídricos.....	40
---	----

Evaluación y atención integral de las lagunas de Mitla, Coyuca y Tres Palos, Guerrero.....	42
--	----

Estrategias para la garantía de los derechos humanos asociados al agua: la sierra wixárika.....	44
---	----

IMTA GLOBAL	46
--------------------------	-----------

Conferencia Binacional sobre la Intersección del Cambio Climático y el Agua, la Agricultura y la Economía.....	47
--	----

Coloquio Internacional: Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión Hídrica.....	48
--	----

Encuentro de Transparencia Hídrica y Gobierno Abierto, Experiencias Internacionales.....	49
--	----

Cooperación técnica internacional.....	49
--	----

Participaciones internacionales.....	57
--------------------------------------	----

CAPACIDADES PARA EL FUTURO	58
---	-----------

Posgrado IMTA.....	59
--------------------	----

Espacio de Conocimiento IMTA.....	60
-----------------------------------	----

2ª Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua.....	61
--	----

Segundo año de El Acueducto.....	62
----------------------------------	----

PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR GENERAL



Adrián Pedrozo Acuña,
*director general del Instituto
Mexicano de Tecnología del Agua*

Hemos llegado a la mitad de la gestión del gobierno federal, tres años de trabajo comprometido que ha priorizado la atención de comunidades vulnerables, para no dejar a nadie atrás, y nos ha permitido avanzar hacia la creación de una nueva manera de tomar decisiones relativas al agua en nuestro país.

En este camino, seguimos motivados y convencidos de que el mejor conocimiento científico, acompañado de la ética por la vida, representan la base para impulsar la transformación del sector hídrico nacional. Lo demostramos con las intervenciones realizadas desde el IMTA, que acompaña las acciones impulsadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Destaco la labor institucional en el Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui, en los Valles Centrales de Oaxaca, o en el Plan para la Atención Integral de Cananea, Sonora. Consolidamos plataformas con información relevante para las decisiones en el sector hídrico, me refiero al Atlas de Calidad del Agua en México y a la información sobre usos del agua en la agricultura nacional. Además, el Instituto tuvo una destacada participación en el proceso de actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021, aportando conocimientos para la necesaria evolución de este marco normativo cuyo objetivo principal es el cuidado de nuestros cuerpos de agua. En la esfera internacional, impulsamos la Ley Modelo de Sistemas Comunitarios que fue aprobada por el Parlamento Latinoamericano y Caribeño, es un referente importante para la consecución del ODS6.

En 2021, el compromiso institucional nos permitió fortalecer la colaboración con otras instituciones del gobierno, en sus tres niveles, instituciones académicas y de la sociedad civil. En el marco de la cooperación técnica internacional se dio continuidad al intercambio de conocimientos y experiencias con otros países de la región.

Reconocemos los retos que las situaciones de crisis representan para la gestión y conservación de los recursos hídricos; nuestro principal desafío es continuar consolidándonos como la inteligencia hídrica de México, al servicio de nuestra nación.

RESUMEN EJECUTIVO

El *Informe 2021* describe los proyectos más relevantes desarrollados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Estas acciones refrendan el compromiso institucional con las comunidades más vulnerables, al plantear soluciones tecnológicas en materia de agua a la medida de sus necesidades y contribuyendo a garantizar los derechos humanos al agua y al saneamiento.

A través de sus 7 ejes de acción; a) Agua y Gobierno, b) Agua y Sociedad, c) Agua y Productividad, d) Agua y Ambiente, e) IMTA Transversal, f) IMTA Global y, g) Capacidades para el futuro, el IMTA realizó y colaboró en proyectos interinstitucionales y multidisciplinarios, nacionales e internacionales, en materia de investigación y capacitación.

En el IMTA, la atención a problemas hídricos se plantea desde un enfoque integral que considere el conocimiento de la salud ambiental y la preservación de la salud humana, se trabajó en proyectos que necesitaron la evaluación de la calidad del agua, del suelo y asesoría técnica para la potabilización y gestión eficiente y los sistemas de agua potable, con el objetivo de garantizar el suministro de agua para consumo humano y agrícola. Entre estos proyectos se encuentran el Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui, el Plan para la Atención Integral de Cananea y la Atención de problemas hídricos en las islas Marías.

La calidad del agua incide en la salud de la población y la información al respecto es crucial para la toma de decisiones y el desarrollo de tecnologías para su potabilización, el IMTA continuó con la actualización del Atlas de calidad del agua en México, una plataforma web que es de acceso público. Asimismo, en conjunto con otras dependencias, organismos internacionales, organizaciones de la sociedad civil e investigadores, intervino en el proceso de construcción de los Indicadores de Derechos Humanos al Agua y Saneamiento en México, una experiencia inédita en nuestro país.

En la consecución de los objetivos principales, el desarrollo de tecnologías que fortalezcan las capacidades locales para optimizar el suministro y manejo eficiente del recurso hídrico, el IMTA realizó una intervención estratégica para aumentar y mejorar la producción básica de alimentos en seis comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca, promoviendo el bienestar social y económico de la región. De igual forma, contribuyó en desarrollar tecnologías amigables con el medio ambiente



para la generación de electricidad que apoyen la producción intensiva de alimentos, principalmente en zonas rurales.

El IMTA, en su camino por compartir el conocimiento, concluyó con la elaboración de una plataforma web informativa sobre usos del agua en la agricultura nacional de riego y continúa con la conformación de una plataforma de cálculo para la agricultura de riego en México. Cabe destacar su participación en el diagnóstico y propuesta para la gestión de los recursos hídricos en el Bosque de Chapultepec, así como en el diagnóstico participativo para garantizar los derechos humanos al agua en la Sierra Wixárika.

En la lucha por mejorar el tratamiento y manejo de aguas residuales, el IMTA coadyuvó en la actualización de la NOM-001 SEMARNAT-2021 que impulsará avanzar en la recuperación de la calidad de los cuerpos de agua. Además, se logró construir y poner en operación un humedal electroquímico para tratamiento de aguas domésticas.

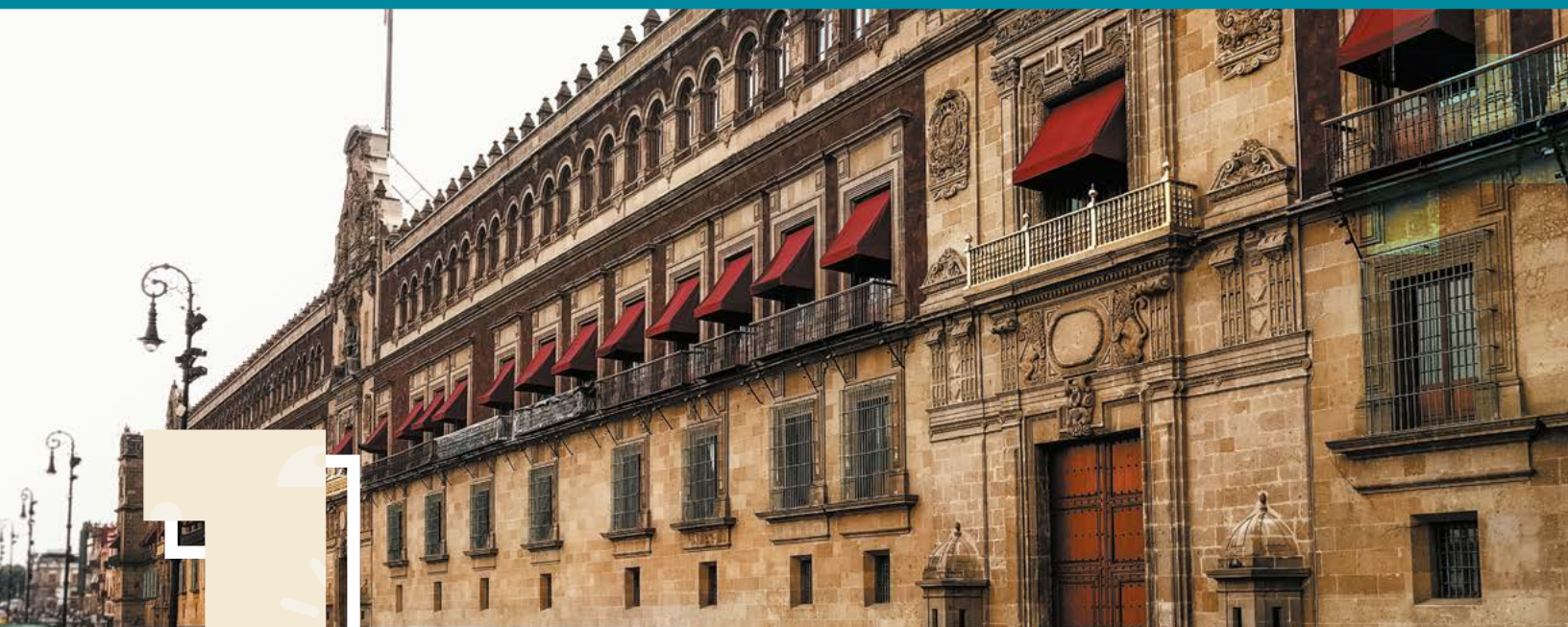
En materia de cooperación internacional, el IMTA tuvo una sólida presencia, organizó la Conferencia Binacional sobre Intersección del Cambio Climático y el Agua, la Agricultura y la Economía con el objetivo de incrementar vínculos de cooperación e intercambio científico y tecnológico con Reino Unido; diversos eventos como el Coloquio Internacional virtual: Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión Hídrica, con expertos de Francia, Estados Unidos, Brasil, Reino Unido, Canadá, Colombia y España, para identificar y discutir las áreas potenciales de investigación científica que provean soluciones innovadoras.

Se continuaron los proyectos de cooperación técnica, mediante capacitaciones virtuales y asesorías remotas, con países latinoamericanos y del Caribe como Bolivia, Honduras, El Salvador, Santa Lucía, Chile, Jamaica, Nicaragua y República Dominicana; en diversos temas como riego, uso eficiente del recurso hídrico, sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento, manejo de base de datos y mitigación de los efectos del cambio climático.

El IMTA continuará contribuyendo en la generación de conocimiento y tecnología que consolide un soporte técnico para la toma de decisiones, que promueva la salud ambiental y la sostenibilidad en el manejo del recurso hídrico, en una labor colectiva nacional y global.

AGUA Y GOBIERNO

- Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui
- Plan para la Atención Integral de Cananea
- Atención de problemas hídricos en las islas Marías
- Apoyo a acciones prioritarias del Gobierno federal



Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui

El IMTA refrenda su compromiso de no dejar a nadie atrás y de dar prioridad a las comunidades más vulnerables, llevando soluciones en materia de agua a la medida de las necesidades y poniendo el conocimiento al servicio de la nación.

Equipo de trabajo: Carlos David Silva Luna, Jennifer A. Bañuelos Díaz, Iván E. Villegas Mendoza, Martín Piña Soberanis, Arturo González Herrera, Natalia Chávez López, Carolina Escobar Neira, Gema A. Martínez Ocampo, José A. Quevedo Tiznado, Marco A. Sánchez Izquierdo, Luis Arturo Brizuela Mundo y Rodrigo Ulises Santos Téllez.

El 27 de octubre de 2019, el Lic. Andrés Manuel López Obrador, presidente de México, se comprometió con las autoridades tradicionales de los ocho pueblos yaquis y con la comunidad a dar inicio a la formulación del Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui con el que se busca el restablecimiento de derechos de esta población y su cumplimiento progresivo.

Para atender este compromiso se nombró al Instituto Nacional de Pueblos Indígenas (INPI) como entidad responsable, se instruyó a todas las entidades del Gobierno federal a participar de forma coordinada y se estableció una mesa de diálogo con las autoridades de todos los pueblos. En este marco, el IMTA empezó el acompañamiento al proceso de formulación del Plan desde el 21 noviembre de 2019. Inició así un proceso de intercambio, conocimiento y planeación conjunta que arrojó como resultado la formulación del Plan, en septiembre de 2021, con acuerdos y acciones concretas que iniciaron un proceso de resarcimiento con el pueblo yaqui.

En el proceso se escucharon las demandas acordadas internamente por los yaquis y su diagnóstico de la situación. Con este punto de partida se agruparon los asuntos en tres temas prioritarios y sus respectivas mesas de trabajo: tierra y territorio, agua y medio ambiente y desarrollo integral (aspectos de salud, económicos, sociales, educativos y culturales). El IMTA participa en las dos últimas mesas, avanzando hasta 2021 como se detalla a continuación:

Mesa de Agua y Medio Ambiente:

- Calidad. En diciembre de 2020, las autoridades de los pueblos yaqui solicitaron al IMTA evaluar la calidad del agua que utilizan para su consumo, tarea que fue asumida por el equipo de calidad del IMTA, y evaluar el estado de sus tierras, que presentaban salinidad, tarea asumida por el equipo de riego del IMTA. Entre diciembre de 2020 y enero de 2021 se tomaron muestras y se analizaron y presentaron los resultados, encontrando diversos contaminantes en las fuentes, por lo que se estableció una intervención temporal, en tanto se cuente con el acueducto Yaqui y su planta potabilizadora, consistente en un sistema de potabilizadoras (garrafoneras) con



*“Se estableció una intervención temporal, en tanto se cuente con el acueducto Yaqui y su planta potabilizadora, **consistente en un sistema de potabilizadoras (garrafoneras) con filtros**”*

filtros diseñados específicamente para los resultados obtenidos. Se cuenta con la instalación y puesta en funcionamiento de los sistemas en seis localidades: Vícam Pueblo, Tórim, Ráhum, Belem, Huírivis y Pótam; cartillas para su funcionamiento y mantenimiento; y acuerdos de operación con las comunidades de estos pueblos.

- Suelos salinos. Se realizó el diagnóstico completo de las áreas a desalinizar, se realizó la supervisión de los sistemas de drenaje subterráneo parcelario y se capacitó en buenas prácticas a los agricultores beneficiados.
- Organización para la gestión. Se realizó el acompañamiento y asesoría a los técnicos del agua del pueblo yaqui para la formulación de la estructura de la entidad que se encargará de la gestión, administración y funcionamiento del acueducto Yaqui y del Distrito de Riego 018. Por otra parte, se acompañó en la conformación de los comités comunitarios encargados de la operación y funcionamiento de los sistemas de potabilización.

Mesa de Desarrollo Integral:

- El IMTA participó en el componente de educación ambiental y manejo de residuos, así como en el montaje y acompañamiento de un huerto agroecológico.



*“Se cuenta con la instalación y puesta en funcionamiento de los sistemas en seis localidades: **Vícam Pueblo, Tórim, Ráhum, Belem, Huírivis y Pótam**”*

Plan para la Atención Integral de Cananea

El conocimiento de la calidad del agua provee información crucial para la toma de decisiones y la implementación de estrategias de mitigación requeridas para garantizar los derechos humanos al agua, a la salud y a un medio ambiente sano.

Equipo de trabajo: Martha Avilés Flores, Lorena Castillo Rodríguez, Humberto García Ficundo, Antonio Javier García López, Leticia Montellano Palacios, Julia Elena Prince Flores, Minerva Sánchez Guzmán, Manuel Sánchez Zarza, Leopoldo Martínez Montes, Juana Enriqueta Cortés Muñoz., Jorge Izurieta Dávila, Pilar Saldaña Fabela, Jennifer Alexis Bañuelos Díaz, Carlos David Silva Luna, Iván Emmanuel Villegas Mendoza, Maricarmen Espinosa Bouchot.

En el marco del Plan Integral de Justicia para Cananea, eje salud ambiental, el IMTA realizó el muestreo de agua de pozos, de agua superficial y de sedimentos en sitios seleccionados del río Sonora. En esta acción se determinaron parámetros regulados y no regulados en la normativa nacional vigente, con el fin de conocer el estado actual de la calidad del agua en la zona afectada por el derrame, ocurrido el 6 de agosto de 2014, en el nacimiento del río Bacanuchi, tributario del río Sonora, cuando la mina Buenavista del Cobre, ubicada en el municipio de Cananea, derramó 40 000 m³ de solución acidulada de sulfato de cobre del represo Tinaja 1. Se colectaron 13 muestras de agua superficial y seis de sedimentos en el cauce del río Sonora y el efluente de la presa El Molinito, así como de veinte pozos de abastecimiento de agua para consumo humano.

Los resultados obtenidos se contrastan con la normativa aplicable, para efectos de establecer aquellas que cumplen con los criterios ecológicos de calidad del agua. En ocho de los 14 sitios muestreados en el cauce del río Sonora, el número más probable (NMP) de coliformes fecales

(menos de 1 000/100 ml) indica que la calidad es admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Sin embargo, los niveles detectados (más de 200 NMP/100 ml) no permiten el uso recreativo con contacto primario e incumplen con el criterio de protección a la vida acuática, en tanto que los sólidos suspendidos totales estuvieron en concentraciones que incumplen con la protección de la vida acuática y eventualmente limitarían el uso público urbano, considerando los límites permisibles (LP) establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Por su parte, los fosfatos rebasan el límite indicado en los criterios ecológicos de calidad del agua (0.1 mg/l), lo que limita el uso del agua como fuente de abastecimiento e incumple de manera importante con el principio de protección de la vida acuática. La demanda química de oxígeno es un parámetro que no está regulado actualmente; en el río estuvo presente en concentraciones que muestran indicios de contaminación por materia biodegradable y no biodegradable.

En general, con excepción del aluminio, que estuvo en concentraciones significativamente mayores al nivel máximo indicado de 0.02 mg/l en los criterios ecológicos de calidad del agua, el arsénico y otros metales pesados no representan actualmente un riesgo sanitario o ambiental en el cauce del río.

Con respecto a los veinte pozos ubicados en las zonas ribereñas del río Sonora, los cuales abastecen de agua potable a la población que se ha visto afectada por el derrame y actividades de la mina, en 11 pozos se identificó contaminación bacteriológica, indicada por coliformes totales, lo que obedece a que las muestras fueron colectadas antes del proceso de desinfección, en cuyo caso el agua no es apta para consumo humano, ya que no cumple con lo establecido en la

modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994. En ocho pozos, el agua no es apta para consumo humano, debido a que rebasa el LP de al menos un parámetro fisicoquímico (dureza total, sólidos disueltos totales, sulfatos, turbiedad, aluminio o hierro) regulado en la citada norma.

De particular preocupación es el contenido de fluoruros (9.93 mg/l) en el pozo San Rafael, que supera de manera importante el LP de 1.5 mg/l; en este sitio es urgente dimensionar de manera precisa el problema sanitario, la intervención para abatir los actuales riesgos a la salud de la población y dar tratamiento adecuado al agua para su potabilización.

El agua del pozo Tahuichopa presenta la mayor problemática de calidad del agua desde el punto de vista organoléptico y rebasa los LP de 0.20 mg/l de aluminio, 0.30 mg/l de hierro y 5.0 UNT de turbiedad, que confieren color, sabor o turbiedad al agua, lo que puede provocar rechazo de los usuarios. Más allá de esto y de la incertidumbre acerca de la toxicocinética del aluminio en el humano, la concentración del metal, 0.97 mg/l, rebasa al valor guía basado en criterios de salud, de 0.9 mg/l, el cual se deriva de la ingesta semanal tolerable provisional del Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios (Jecfa por su acrónimo en inglés). En los pozos Bacanuchi (MET-001), Baviácora (MET-083), La Capilla (MET-081), Mazocahui, Sauz de Ures (OCNOR 4018), San Rafael (MET-112) y San José de Gracia (MET-046) es necesario el tratamiento de agua para la eliminación de iones disueltos (sulfatos, dureza total o sólidos disueltos totales).

Si bien el arsénico y el mercurio en los sedimentos del río Sonora se encuentran en concentraciones dentro de los valores de fondo de la cuenca, constituyen una preocupación



“El IMTA realizó el muestreo de agua de pozos, de agua superficial y de sedimentos en sitios seleccionados del río Sonora... en ocho de los 14 sitios muestreados la calidad es admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola.”

debido a su toxicidad y a que dichas concentraciones rebasan valores guías de calidad de sedimentos para protección de la vida acuática propuestos por diversas agencias internacionales. La mayor problemática de presencia de metales pesados en sedimentos se observa en la zona en la cual se ubica la mina, esto es en MET-005 (arroyo El Jaralito) y OCNOR 3988 (Sonora 6); OCNOR 4020 (Baviácora) en la zona media del río, así como en OCNOR 4017 (EL Gavilán) y efluente de la presa El Molinito en la zona sur de la cuenca.

Se visitaron las plantas potabilizadoras instaladas en San Rafael de Ures, Aconchi, Mazocahui, La Capilla, Baviácora, Banamichi, Huépac, San Felipe de Jesús, Arizpe y Bacanuch con el objeto de realizar un diagnóstico de la situación que presentan, y se encontró lo siguiente:

- Se requiere evaluar los sistemas de potabilización instalados conforme a los resultados analíticos de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento, proponer los que correspondan e instalarlos.
- Se deben poner a funcionar los sistemas para dotar de agua purificada a la población y reconstruir la confianza en la calidad del agua.
- En todos los casos, considerar la conformación de un comité de agua y la capacitación de las personas que se designen como responsables de la operación y mantenimiento de las plantas potabilizadoras.
- Los sistemas de potabilización en general son de última tecnología, automatizados y excedidos en dimensionamiento. Se trata de tecnología alemana armada en España.

Además, se ha participado en reuniones de trabajo con otras dependencias y con los comités de cuenca del río Sonora y en la conformación del plan de acciones a realizar en lo referente a la salud ambiental.

De la mano de las comunidades, se realizó un segundo muestreo de agua tanto de pozos, tomas domiciliarias, sedimentos y agua superficial en la semana del 15 de noviembre de 2021.

Es importante indicar que se está actuando en la problemática, tanto de Cananea como del río Sonora, de una forma que permita atender la situación de manera integral, considerando agua, suelo, aire, y la salud humana.





Atención de problemas hídricos en las islas Marías

La aportación del IMTA contribuye a garantizar el agua para consumo humano en la isla María Madre, tener sistemas de riego en sus viveros y una mejor red de distribución hidráulica.

Equipo de trabajo: Adrián Pedrozo Acuña, Norma Ramírez Salinas, Rodrigo Ulises Santos Tellez, Mario A. Montiel Gutiérrez, César Calderón Mólgora, Ulises Dehesa Carrasco, Jennifer Bañuelos Díaz, Antonio Javier García López, Iván Emmanuel Villegas Mendoza, José Manuel Rodríguez Varela, Óscar Llaguno Guilberto y Juan Maldonado Silvestre.



El Gobierno de México implementa programas estratégicos. Uno de ellos es el Centro de Educación Ambiental y Cultural “Muros de Agua–José Revueltas”, que ha permitido formar a jóvenes universitarios en temas de protección ambiental y tecnologías verdes.

El desarrollo de las actividades se realiza en coordinación con la Semarnat, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) y la Secretaría de Marina Armada de México (Semar). En este marco, el IMTA identificó la problemática en la isla con respecto al recurso hídrico de forma puntual, específicamente en lo relacionado con agua potable, fuentes de abastecimiento y red de distribución, y se establecieron las acciones necesarias para resolverla.

Se realizó un estudio para la reducción de pérdidas físicas de la red de distribución del Campamento Balletto y el Campamento Morelos de la isla María Madre y se elaboró el informe del estudio con los trabajos propuestos.

Se capacitó al personal de Conanp en la operación del sistema de potabilización que se instaló para suministrar agua que cumpla con la norma NOM-127-SSA1-1996, modificación 2000. Se elaboró una guía y se grabó un video para que los puedan consultar al momento de realizar una acción diferente a las cotidianas, como es el cambio de filtros.

También se dio asesoría y apoyo en la instalación de sistemas de riego y camas de cultivo en el Vivero de la Armada de México en Islas Marías: tres sistemas de riego por goteo a baja presión en el vivero de la Marina para los cultivos de árboles frutales de plátano, limón y palma. La superficie total instalada es del orden de los 1 200 m². De igual forma, se realizaron y prepararon cuatro camas de cultivo de 20 m de largo por 1 m de ancho para la siembra agroecológica de hortalizas, como lechuga, col y zanahoria, y especias como el cilantro.

Durante 2021 se participó en las reuniones del grupo de infraestructura, y cinco especialistas impartieron temas del agua en el Programa de Educación de los Jóvenes Guardianes de la Tierra en conjunto con Conanp y otras instituciones.



*“El IMTA identificó la problemática en la isla con respecto al recurso hídrico de forma puntual, **específicamente en lo relacionado con agua potable, fuentes de abastecimiento y red de distribución**, y se establecieron las acciones necesarias para resolverla.”*

Apoyo a acciones prioritarias del Gobierno federal

La información que genera el IMTA constituye un soporte técnico que permite identificar y establecer medidas preventivas y, en su caso, correctivas, para la identificación de riesgos sanitarios, necesidades de evaluación, cuantificación y procedimientos de mitigación y seguimiento e identificación de oportunidades.

Equipo de trabajo: Juana Enriqueta Cortés Muñoz, Martha Avilés Flores, Lorena Castillo Rodríguez, Humberto García Ficundo, Antonio Javier García López, Leticia Montellano Palacios, Julia Elena Prince Flores, Minerva Sánchez Guzmán, Manuel Sánchez Zarza, Leopoldo Martínez Montes, Jorge Izurieta Dávila, Pilar Saldaña Fabela, Jennifer Alexis Bañuelos Díaz, Carlos David Silva Luna, Iván Emmanuel Villegas Mendoza y Maricarmen Espinosa Bouchot.

La Semarnat, a través del IMTA, requiere brindar atención a problemáticas de salud ambiental y de los ecosistemas acuáticos asociadas a factores de contaminación y calidad del agua. Estos problemas pueden derivar de situaciones de emergencia ambiental, como es el caso de los derrames de jales mineros, en los cuales la información de la calidad del agua es clave para determinar las medidas correctivas que se deban implementar; de reclamos sociales que requieren atención oportuna para garantizar el derecho humano al agua y al medio ambiente sano o, incluso, de aquellos casos que pueden tener un origen desconocido que se requiera investigar a detalle para encontrar las causas, así como alternativas de solución. En este sentido, destacan los temas de la mortandad de manatíes en Macuspana, Tabasco, desde el 2018, y la incidencia de enfermedad renal crónica de etiología desconocida en comunidades del estado de Tlaxcala.

Mortandad de manatíes en Macuspana, Tabasco

En agosto se llevó a cabo el muestreo de calidad del agua en los ríos Bitzales, Maluco y Chilapa. Los resultados indican el aumento en la conductividad eléctrica en el río Bitzales, y el aumento en el carbón orgánico total en el río Maluco. De los metales analizados, solo el zinc presentó bajas concentraciones en un intervalo de 0.021 a 0.036 mg/l, ambos detectados en el río Maluco, los restantes estuvieron por abajo del límite de detección.

Asimismo, el conocimiento y seguimiento de las condiciones de calidad del agua en la zona de los Bitzales, esto es en los ríos Bitzales, Maluco y Chilapa, es fundamental para la identificación e implementación de medidas que permitan proteger la vida y salud de la población de manatíes, así como para la protección de otras formas de vida acuática y silvestre en la región. Es importante anotar que la salud humana está estrechamente relacionada con la salud del medio ambiente.

Incidencia de enfermedad renal crónica de etiología desconocida en comunidades del estado de Tlaxcala

Con el objeto de atender la problemática por el agua en la comunidad de Santa María Texcalac, Apizaco, Tlaxcala, se realizó un muestreo de fuentes de abastecimiento y en tomas domiciliarias con el objeto de determinar la calidad del agua. También se recolectaron muestras de descargas que van a cuerpos receptores, encontrándose una gran problemática en el cumplimiento de la norma que les corresponde. Con los datos de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento se propuso el sistema de potabilización aplicable. Se encuentra en proceso la instalación del sistema adecuado y funcional para las necesidades de la comunidad.

Santa María Texcalac es una comunidad cuya principal actividad económica es la agricultura, su población es indígena y se encuentra en una condición de vulnerabilidad. El IMTA realizó un muestreo en sus principales fuentes de agua potable (pozo Atlas y Lavadero Ciénega), así como en puntos estratégicos de la red de distribución para cuantificar los contaminantes presentes en la misma y, con esta información, seleccionar los procesos de tratamiento más adecuados para instalar y poner en marcha sistemas purificadores de agua. La cantidad de agua producida debe ser suficiente para satisfacer las necesidades de consumo de aproximadamente 7 800 personas.

Se seleccionaron dos sitios que cuentan con las características técnicas requeridas para instalar cuatro plantas purificadoras con una capacidad unitaria de tratamiento de 400 garrafones por turno de ocho horas.

Se diseñó un tren de tratamiento que permitirá obtener agua de calidad que cumpla con la NOM-127-SSA1-1994 (modificación del año 2000) y con criterios internacionales, minimizando así la producción de desechos, y que consta de las siguientes operaciones unitarias: filtración en arena, carbón activado, suavización, filtración en cartucho y desinfección mediante luz ultravioleta.



AGUA Y SOCIEDAD

- Atlas de calidad del agua en México
- Identificación de contaminantes orgánicos en Campeche
- Planta de tratamiento de aguas residuales domiciliarias y reutilización
- Derechos humanos, organizaciones locales y agua en México



Atlas de calidad del agua en México

La calidad del agua para consumo humano, distribuida a través de redes de abastecimiento, incide directamente en la salud de la población. El Atlas de calidad del agua en México se presenta como una herramienta útil para la toma de decisiones en los distintos órdenes de gobierno y para dirigir los esfuerzos en el desarrollo, adaptación e implementación de tecnologías de potabilización del agua para consumo humano.

Equipo de trabajo: Julia Elena Prince Flores, Martha Avilés Flores, Jennifer Alexis Bañuelos Díaz, Lorena Castillo Rodríguez, Juana Enriqueta Cortés Muñoz, Marianella Espinosa Lara, Fernando Flores Prior, Indira Franco Salazar, Humberto García Ficundo, Antonio Javier García López, Juan Leodegario García Rojas, Arturo González Herrera, Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez, Leticia Montellano Palacios, Sara Pérez Castrejón, María de Lourdes Rivera Huerta, Minerva Sánchez Guzmán, Marco Antonio Sánchez Izquierdo, Emilio García Díaz, Manuel Sánchez Zarza, Carlos David Silva Luna e Iván Emmanuel Villegas Mendoza.

El *Atlas de calidad del agua en México* es una plataforma web de acceso público para la visualización y consulta de los datos. La información es accesible a la población mexicana, con lo que se busca coadyuvar a generar un diálogo e intercambio de ideas que promueva la implementación de acciones que contribuyan a mejorar la calidad del agua en nuestro país.

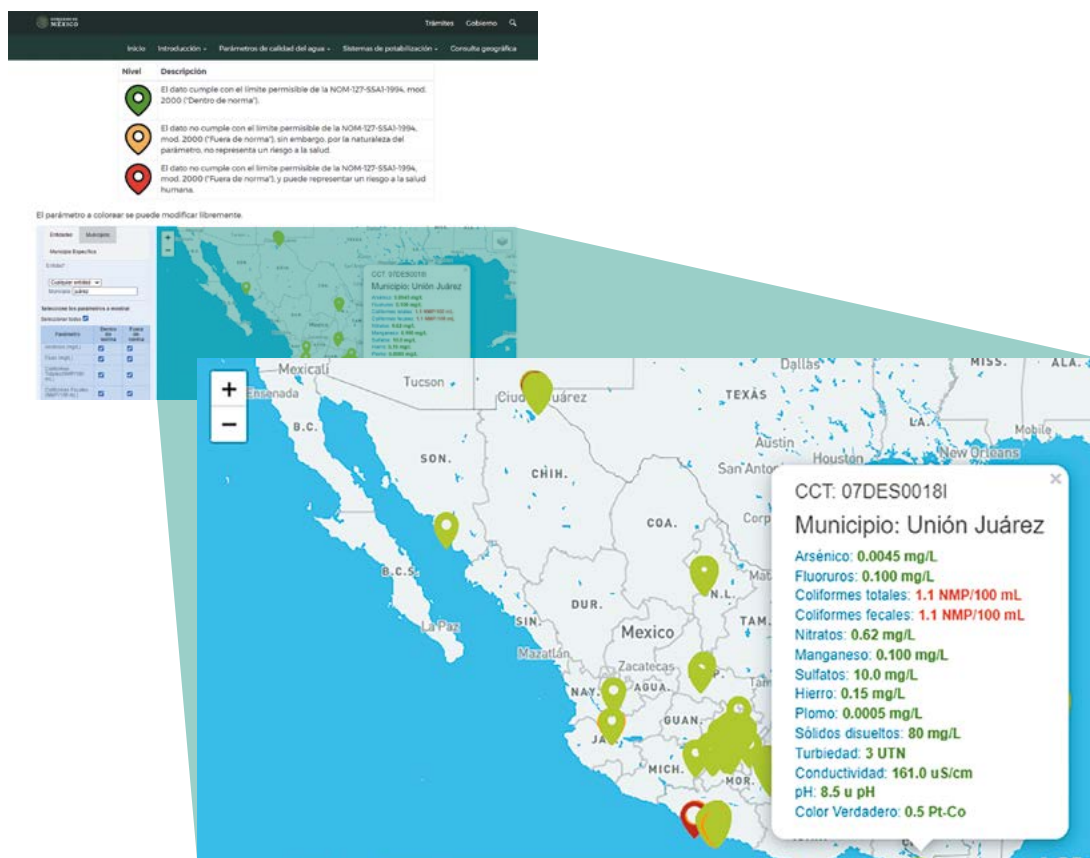
Durante 2020 se desarrolló la primera parte de este, integrando en un sistema de información geográfica los datos de calidad del agua de red de abastecimiento de más de 22 000 sitios de muestreo distribuidos a lo largo de la república mexicana, abarcando localidades tanto rurales como urbanas y presentando un panorama muy completo respecto a las tendencias de calidad del agua de red que es abastecida a la población mexicana.

En 2021 se integraron 4 117 datos adicionales recabados en 2020 a través de la colaboración con el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (Inifed), en el marco del Programa Nacional de Bebederos Escolares, los cuales alimentan al Atlas en esta segunda etapa del proyecto. Asimismo, se llevaron a cabo acciones complementarias a lo efectuado en la primera etapa del proyecto, tales como el desarrollo de la plataforma web para la visualización de los datos, y la implementación de una estrategia de potabilización en una comunidad rural, seleccionada con base en los datos recabados durante 2020.

El Atlas actualizado tiene información de más de 25 000 sitios de muestreo. La plataforma web incluye una sección de introducción, diferentes opciones de consultas geográficas de los datos de calidad del agua, información sobre los parámetros de calidad del agua, su origen e importancia en el agua para consumo humano, así como una sección correspondiente a



“El Atlas actualizado tiene información de más de 25 000 sitios de muestreo. La plataforma web incluye una sección de introducción, diferentes opciones de consultas geográficas de los datos de calidad del agua, información sobre los parámetros de calidad del agua, su origen e importancia en el agua para consumo humano”



descripciones y esquemas de diferentes sistemas de potabilización propuestos en función de los contaminantes encontrados en el agua. De esta manera, la plataforma web integra una versión sintética del Atlas de calidad del agua en México.

Además, se realizó la evaluación de riesgos a la salud, basada en las metodologías de evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América, la Organización Mundial de la Salud y las agencias de salud y ambientales de Australia y Canadá. El equipo de trabajo identificó que las concentraciones de arsénico mayores a 10 µg/l, conllevan riesgos sistémicos (no cáncer), así como un incremento en la probabilidad del riesgo de padecer cáncer en el transcurso de la vida (más de 1/10 000). Por su parte, los fluoruros tienen el potencial de afectar la salud de la población infantil si las concentraciones del ion en el agua de bebida son superiores a 0.80 mg/l. El manganeso es un metal que requiere atención en algunos sitios del país, en donde las concentraciones en el agua de bebida son mayores a 0.40 mg/l. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de correlaciones y componentes principales, que incluyó a) los promedios de las tasas de mortalidad general (Inegi, años 2010-2019), ajustadas por edad, por municipio, para leucemias, enfermedades hipertensivas, neoplasias (tumores), diabetes mellitus, enfermedad renal túbulo-intersticial, enfermedad renal crónica y litiasis urinaria, y b) los promedios (2016-2019) de las concentraciones de arsénico, fluoruro, plomo, manganeso, nitratos, dureza total y sólidos disueltos totales, integrando además variables tales como acceso a agua entubada, saneamiento y servicios de salud (Conapo, índices de marginación 2015).

Entre las principales conclusiones destaca que la variabilidad en las concentraciones de fluoruro, plomo y arsénico podría explicar de manera marginal o parcial las tasas de mortalidad general ajustadas por edad a nivel de los municipios, y son factores importantes en la mortalidad por leucemia y enfermedades hipertensivas; mientras que la concentración de nitratos en el agua, así como las deficiencias en el acceso al servicio de agua entubada, saneamiento y la escolaridad, son factores importantes a considerar en las enfermedades intestinales, diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso.

Identificación de contaminantes orgánicos en Campeche

El IMTA evaluó la calidad del agua de fuentes de abastecimiento para identificar compuestos orgánicos, particularmente el herbicida glifosato.

Equipo de trabajo: Leticia Montellano Palacios, Antonio Javier García López, Minerva Sánchez, Norma Ramírez Salinas, Julia Elena Prince Flores, Leopoldo Martínez Montes y Martha Avilés Flores.

El proyecto se desarrolló en los municipios de Champotón, Campeche, Hopelchén, Calkiní y Hecelchakán, en el estado de Campeche, con el objetivo de evaluar la calidad del agua de fuentes de abastecimiento en lo concerniente a compuestos orgánicos, particularmente el herbicida glifosato.

La Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem) manifestó la preocupación por el uso de glifosato y el posible impacto en la salud de la población de aquellas comunidades que se ubican cerca de los polígonos de liberación.

Signatarios de muestreo tomaron las muestras de agua de los 18 pozos seleccionados. Se midieron en campo el pH, la temperatura y la conductividad. El pH y la temperatura cumplen con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-001-SEMARNAT-1996, respectivamente. La conductividad es un parámetro que no está normado. Tomando como referencia los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua en fuente de abastecimiento para riego agrícola, la conductividad es de 1 mmhos/cm. Los valores obtenidos de los pozos no cumplirían con estos criterios. Ver fotos de la uno a la cinco de la realización del muestreo.

En México, el glifosato es un herbicida que no está normado, para poder determinar un criterio se consideró como valor guía el de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), cuyo límite permisible en el agua de ingesta es de 700 µg/l, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera un valor de 900 µg/l. Los resultados mostraron que en ninguno de los pozos se detectó glifosato.

Los barridos de compuestos orgánicos semivolátiles (COSV) tienen una probabilidad y similitud del 80 %. Estos se determinaron en medio ácido, básico y neutro, y se encontraron compuestos como hidrocarburos, ftalatos, ésteres y lidocaína, entre otros. Es recomendable realizar la cuantificación de los compuestos más comunes.

En el barrido de compuestos orgánicos volátiles (COV), el dióxido de carbono fue el compuesto que se encontró en la mayoría de los pozos. El CO₂ es un compuesto que está presente en la atmósfera y es un gas bastante soluble en el agua. Otro compuesto presente en dos pozos fue el Trisiloxane, 1,1,1,5,5,5-hexamethyl-3-[(trimethylsilyl)oxy], el compuesto no tiene número de registro CAS (Chemical Abstracts Service). Se revisó el tiempo de retención, el cual coincidía con el de la biblioteca del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés) del equipo. Se recomienda la cuantificación del compuesto para confirmar la presencia y concentración.

Los resultados obtenidos de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de los diferentes pozos fueron los siguientes: en 7 pozos, la relación DBO/DQO es inferior a 0.2, lo cual podría indicar la presencia de compuestos inorgánicos u orgánicos. Los pozos con cocientes de cero podrían indicar que el agua no presenta contaminación por compuestos no biodegradables o exceso de algún compuesto inorgánico.

Se realizaron barridos UV-Vis a longitudes de onda de 200 a 1100 nm, midiendo la absorbancia. A longitudes de onda de 249.51 a 934.99 nm, las absorbancias son negativas. No se presentaron picos en el espectrograma. En la región visible, las muestras no revelaron un compuesto que les diera coloración. Se obtuvo un pico con lecturas de absorbancia a longitudes de onda de 200.00 a 237.98 nm, que podría corresponder a los compuestos orgánicos detectados en los barridos de COSV.

El carbono orgánico total (COT) forma parte de las sustancias orgánicas de las aguas superficiales. Los resultados obtenidos están entre 0.7 mg/l a 1.6 mg/l a excepción del pozo Nuevo Progreso (campo menonita) que tiene un valor de 2.16 mg/l, si se consideran los valores máximos permisibles del proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-XXX, Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de abastecimiento. El límite máximo permisible es de 2.0 mg/l. Se estaría cumpliendo con este criterio a excepción de un pozo. Se presenta gráfica de COT, que representa el comportamiento de las concentraciones.

La determinación de la posible presencia de glifosato y otros contaminantes orgánicos en la zona de estudio constituye un primer paso indispensable para la regulación y eliminación gradual del uso del glifosato, conforme al mandato presidencial, para prevenir futuros daños a la salud humana y el medio ambiente en el estado de Campeche.

Planta de tratamiento de aguas residuales domiciliarias y reutilización

El IMTA ha trabajado en el diseño de una planta de tratamiento para ser operada con un bajo consumo de energía. El efluente de este nuevo sistema de tratamiento cumple con la normatividad vigente en materia de aguas residuales.

Equipo de trabajo: Edson Baltazar Estrada Arriaga, Liliana García Sánchez y Axel Falcón Rojas.

En 2021, el IMTA logró evaluar, bajo diferentes condiciones de operación TRH (tiempo de retención hidráulico) y voltaje, la planta tipo paquete de bajo consumo de energía para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias.

El sistema de tratamiento desarrollado fue evaluado aplicando dos TRH globales de 0.75 y 1.5 días, así como dos voltajes aplicados de 0.7 y 1.0 V. Las variables de respuesta para determinar la eficiencia de tratamiento del sistema fueron: DQO, DBO5, nitrógeno total (NT), nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), nitrógeno de nitratos (N-NO_3^-), nitrógeno de nitritos (N-NO_2^-) y fósforo total (FT).

En cada uno de los tratamientos se realizó la medición de espectroscopía de impedancia electroquímica y voltamperometría cíclica. Se midió el biogás obtenido de la CEM, se cuantificó el volumen generado por día y su composición por cromatografía de gases. El rendimiento de la CEM se evaluó en términos de eficiencia Coulómbica (%), densidad de corriente (mA), recuperación de hidrógeno (%) y tasa de producción de hidrógeno (l/l d). Para la evaluación económica del sistema desarrollado, se hizo un análisis de punto de equilibrio, el cual indica la cantidad de ingresos que se necesitarán para cubrir los gastos antes de que pueda lograrse una ganancia al tratar el agua residual doméstica con esta planta tipo paquete. Para implementar este sistema se necesitó saber cuáles son los gastos y los ingresos que, por estos últimos, puede ser tratada el agua a un menor costo o incluso reusarla.

El sistema de tratamiento se evaluó durante 168 días y se alimentó con agua residual doméstica real. El acoplamiento de tres tecnologías: celda de electrolisis microbiana, filtro biológico sumergible y reactor de lecho móvil, opera de manera funcional para lograr un tratamiento de agua residual doméstica eficiente, en el cual cada una de las tres cámaras contribuyó en la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual. El sistema de tratamiento permite obtener un agua que cumple con los límites permisibles de los parámetros que se indican en la NOM-001-SEMARNAT-2021 para que el agua tratada sea reusada en riego de área verde y agrícola. Ver gráficas a, b y c.

Las pruebas electroquímicas ayudaron a comprobar la presencia de biopelículas sobre los electrodos de la cámara CEM y la oxidación de materia orgánica que se genera durante las reacciones bioelectroquímicas.

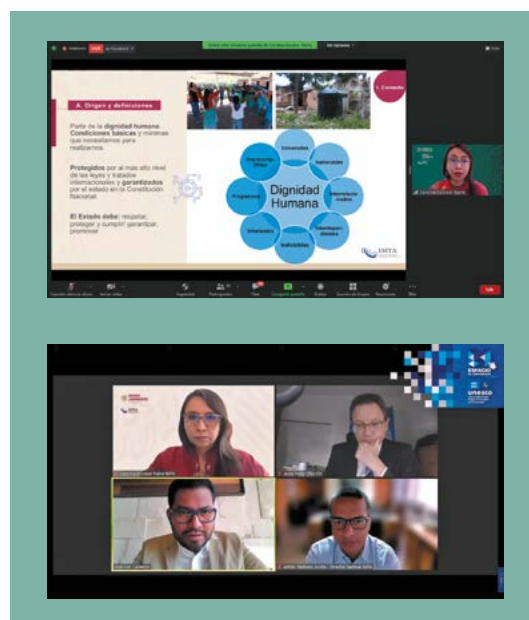
Indicadores de derechos humanos al agua y al saneamiento en México

El IMTA generó acciones transformadoras y presentó, en 2021, la metodología y el proceso de construcción de los indicadores de derechos humanos al agua y al saneamiento, con los que se pretende dar cuenta del estado actual de su cumplimiento, reportar su avance efectivo, y brindar herramientas para la mejor toma de decisiones, la priorización de acciones y el establecimiento de metas respecto a su cumplimiento, así como transparentar la información al respecto.

Equipo de trabajo: *Carolina Escobar Neira.*

La construcción de indicadores de derechos humanos al agua y al saneamiento, si bien surge en el segundo semestre de 2019 como una iniciativa del IMTA, son el resultado del trabajo colaborativo realizado a lo largo de dos años entre entidades de la administración pública, como el Inegi, el Inecc, la SRE, la Segob, la Conagua; organismos internacionales como la Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos en México (ONU-DH) y Waterlex-HumanRight2Water; organizaciones de la sociedad civil, como Comda, Cántaro Azul y Oxfam-México; investigadores, como el Programa Universitario de Derechos Humanos de la UNAM (PUDH-UNAM) y el Colegio de Geografía de la UNAM; y un conjunto amplio de activistas, académicos, funcionarios, conocedores e interesados en el tema que nos dieron en diversos momentos y a lo largo de estos dos años sus opiniones, aportes y sugerencias.

Gracias a todos estos aportes, a la experiencia y conocimiento de todos los involucrados en materia de indicadores, de DD. HH. o en temas relacionados con el agua y el saneamiento, se consolidó un conjunto de 104 indicadores con cada una de sus fichas descriptivas, que en este momento se están incorporando en el Sistema Nacional para la Evaluación del Nivel de Cumplimiento de los Derechos Humanos (SNEDH) y que estarán listos para empezar a medirse y consultarse en el primer semestre de 2022, con lo que se confía marcar un punto de inflexión en cuanto al nivel de cumplimiento de estos dos derechos fundamentales para el cumplimiento de otros derechos, dado que no podemos incidir en lo que no conocemos porque no se mide.





AGUA Y PRODUCTIVIDAD

- Intervención estratégica participativa en los Valles Centrales de Oaxaca
- Plataforma web informativa sobre usos del agua en la agricultura nacional
- Riego por gravedad tecnificado en los distritos de riego de Sinaloa
- Nexo agua-energía-alimentos



3

Intervención estratégica participativa en los Valles Centrales de Oaxaca

El IMTA contribuye en el fortalecimiento de capacidades locales para la autogestión y el mejoramiento de calidad de vida mediante la optimización de los usos del agua. Con esta acción se promueve el bienestar social a través del desarrollo de tecnologías apropiadas, haciendo uso de los recursos naturales. Es una intervención social participativa a favor del mejoramiento y aumento de la producción básica de alimentos.

Equipo de trabajo: Carolina Escobar Neira, Gemma Millán Malo, Natalia Chaves López, Humberto Miguel Luna Pérez, Marco Sánchez Izquierdo, José Antonio Quevedo, Juan Manuel Ángeles Hernández, Jorge Andrés Castillo, Víctor Manuel Gordillo Salinas, Ulises Dehesa Carrasco, José Alfredo Díaz Magaña, Emir Delgado Quezada, Olga García Villa, Jorge Luis Izurieta Dávila y Jennifer Alexis Bañuelos Díaz.

La región de los Valles Centrales abarca una superficie de 9 480 km², se subdivide en 121 municipios, agrupados en siete distritos: Ocotlán, Zimatlán, Zaachila, Etla, Ejutla, Tlacolula y Centro. En esta región predomina la población indígena de los grupos zapoteco, mixteco y mixe. Estos grupos han organizado históricamente su acceso al agua y sus tierras de cultivo partiendo de sus conocimientos empíricos, con una baja participación de instituciones federales. Frente al agotamiento de los pozos, entre 1995 y 2005, y la veda, se organizaron y empezaron la siembra y la conformación de comités locales para el cuidado y defensa del agua. En este contexto, el Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI) decidió iniciar un proceso de fortalecimiento de esas intervenciones en estas comunidades. El IMTA, en articulación con el INPI, realizó una visita a seis comunidades para elaborar propuestas que complementen las colaboraciones.

Inicialmente se realizó una campaña de muestreo en 12 sitios de las comunidades de Tejas de Morelos, San Pedro Apóstol, San Matías Chilazoa, San José del Progreso y San Antonino Castillo, acompañados por personal de Flor y Canto A. C. y del INPI, así como por representantes de las comunidades visitadas.

En la sede de Flor y Canto en Oaxaca se realizó una entrevista profunda, y con ella se logró registrar su historia, que surge de un grupo de mujeres religiosas de la diócesis de Oaxaca y de la Coordinadora de Pueblos Unidos por el Cuidado y la Defensa del Agua (Copuda), que está representada en cada una de las 16 comunidades por un Comité Local para el Cuidado y la Defensa del Agua.

Adicionalmente, se visitaron seis parcelas de productores de riego con cultivo de alfalfa (principalmente) y maíz, regadas



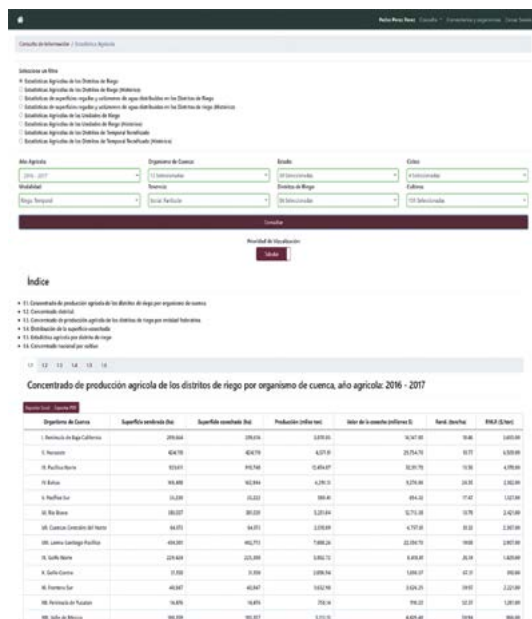
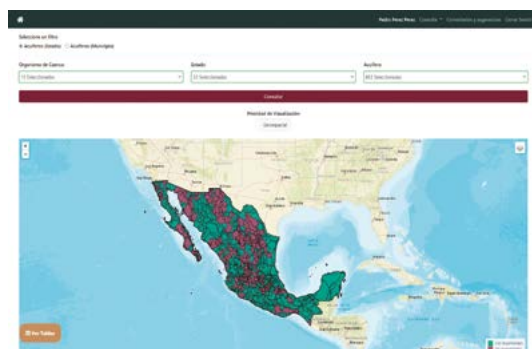
*Frente al agotamiento de los pozos, entre 1995 y 2005, y la veda, **se organizaron y empezaron la siembra y la conformación de comités locales para el cuidado y defensa del agua.** El IMTA, en articulación con el INPI, realizó una visita a seis comunidades para elaborar propuestas que complementen las colaboraciones.*

Con la propuesta también se busca desarrollar estrategias específicas que garanticen la producción de alimentos a nivel local en consecuencia, lo cual mejorará el nivel económico, ya que podrán producir algunos de sus insumos básicos y potenciar el desarrollo económico mediante el uso eficiente del agua y la energía para el manejo de cultivos de consumo local. Además, favorecerá el desarrollo de tecnologías replicables que pueden impactar en el desarrollo social y económico de la región de influencia.

El IMTA concluyó la plataforma web con información tabular y espacial, actualizada y confiable sobre el uso del agua en la agricultura nacional de riego, apoyada en imágenes satelitales y muestreo en campo.

En 2021 se concluyó la cuarta etapa del proyecto, que tuvo el propósito de llevar a cabo la difusión de los resultados a través de la impartición de cursos y talleres, la elaboración de manuales de usuario de la plataforma y presentación de ponencias y seminarios. Las actividades realizadas en esta etapa fueron las siguientes: elaboración de manuales de la plataforma web que facilite la consulta de usuarios potenciales; impartición de tres cursos o talleres sobre el uso de las tecnologías utilizadas a usuarios interesados; difusión del uso de la plataforma a través de la presentación de ponencias, tesis y seminarios en eventos de importancia nacional; y presentación de artículos en congresos o revistas arbitradas.

[illegible]



La plataforma informativa con el nombre clave *Sisuar* integra diversas fuentes de información sobre acuíferos, presas de almacenamiento y derivación, estadísticas agrícolas de distritos y unidades de riego, calidad del agua en México, estaciones hidrométricas, índices de marginación e infraestructura de distritos de riego, integrando información tabular y geográfica de las fuentes citadas.

de infraestructura de distritos de riego, integrando información tabular y geográfica de las fuentes citadas. La versión prototipo puede ser consultada en **sisuar.imta.mx**.

Este proyecto permitió el desarrollo y validación de metodologías para la estimación de variables de alta variabilidad espacial y temporal a nivel país, como la evapotranspiración de referencia, así como la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos a nivel municipal, ya que es un reto actual y factible, dado el incremento en la densidad de estaciones agroclimatológicas automatizadas, imágenes satelitales de última generación, series estadísticas agrícolas de más años y bases de datos climatológicas más robustas.

Este proyecto suministrará información para un acoplamiento armonioso entre la demanda y la oferta de agua y permitirá un uso más eficiente para disminuir las externalidades negativas, tales como la sobreexplotación o destrucción de los recursos asociados al suelo, el agua y la energía.

La incorporación de una plataforma web con elementos dinámicos e interactivos para proveer información sobre los recursos hídricos de una región, municipio o localidad significa un adelanto cuantitativo en el manejo de información robusta, oportuna y accesible de uso del agua por las zonas agrícolas. La Sagarpa, a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), proporciona información estadística anual de la producción agrícola tanto de las zonas bajo riego como de temporal, y la Conagua principalmente de los distritos de riego y, en menor grado, de las unidades de riego. Sin embargo, el acceso a la información no está estandarizado, por lo que se requiere un sistema que proporcione dicho acceso con una interfaz amigable y oportuna.

Riego por gravedad tecnificado en los distritos de riego de Sinaloa

El IMTA contribuye en la conformación de una nueva plataforma de cálculo para la agricultura de riego en México.

Equipo de trabajo: José Antonio Quevedo Tiznado, Ronald E. Ontiveros Capurata, Víctor Manuel Gordillo Salinas, Juan Manuel Ángeles Hernández, Juan Arista Cortés, Alberto González Sánchez, Roberto Ramírez Villa y Pamela Iskra Mejía Estrada.

La validación de este paradigma contribuirá a una mejor y más fácil gestión de grandes superficies irrigadas, así como un menor costo comparado con el método tradicional de coeficientes de cultivo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), provocando un ahorro significativo de agua de riego. Se logró desarrollar una metodología para estimar la necesidad de riego de un cultivo de interés y su variabilidad espacio-temporal en parcelas de un módulo de riego del estado de Sinaloa mediante el uso de sensores remotos, análisis espacial y procesamiento de datos en la nube.

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se determinó utilizando la metodología de coeficientes de cultivo recomendada por la FAO (Allen et al., 1998) mediante el uso de la función resultante de multiplicar la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o) y un coeficiente de cultivo (K_c):

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Con los datos obtenidos de una estación agroclimatológica automatizada se calculó la primera variable (ET_o) de la función que determina la evapotranspiración del cultivo. El segundo paso fue la determinación del coeficiente de cultivo (K_c), parámetro que varía a lo largo del ciclo de crecimiento y depende del desarrollo concreto de cada cubierta. La metodología K_c - ET_o basada en percepción remota deriva el valor del coeficiente de cultivo desde las imágenes multiespectrales adquiridas por sensores a bordo de plataformas espaciales, aerotransportadas o en tierra (Calera et al., 2005).

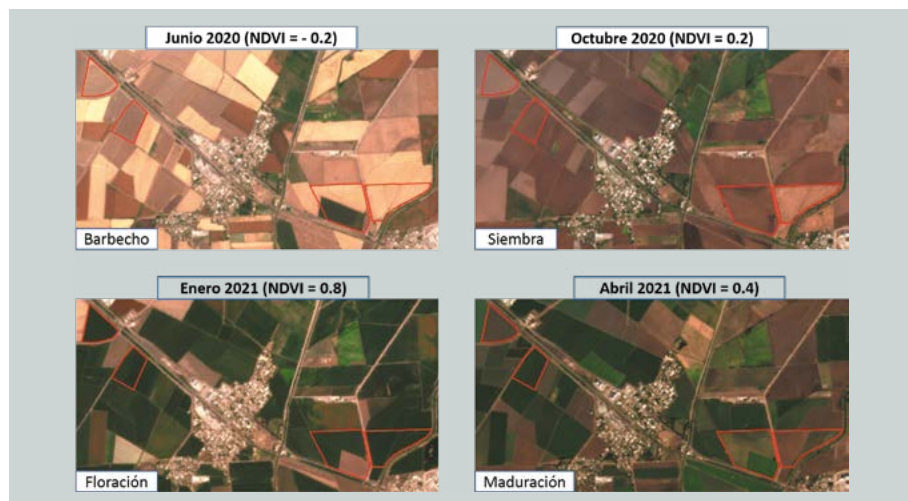


Fig 1. Monitoreo del cultivo con imágenes satelitales

Se seleccionaron seis parcelas de maíz en el Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito” del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya durante el cierre del ciclo agrícola 2020–2021. En estas seis parcelas cooperantes se dio seguimiento a la humedad del suelo y se calcularon los Índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) durante el ciclo agrícola, desde el momento de la siembra hasta la cosecha, desde el mes de noviembre de 2020 hasta el mes de junio de 2021. Se utilizaron imágenes espectrales históricas del satélite Sentinel 2, con una resolución de 10 x 10 m y con periodicidad quincenal de siembra a cosecha. Los resultados del NDVI para el mes de máxima demanda en el mes de mayo indican que se tienen valores de 0.8 a 0.82 del mencionado índice. Sin embargo, para todo el ciclo agrícola, la figura 1 muestra los valores del NDVI para el cultivo de maíz en la zona de Culiacán, Sinaloa.

El NDVI presentó una tendencia correspondiente al desarrollo de los cultivos. Como

puede verse en la figura 2, las etapas tempranas muestran valores pequeños de NDVI, y conforme el cultivo comienza a desarrollarse, el NDVI incrementa de valor. Los valores mayores de NDVI se presentaron en los meses de febrero y marzo, coincidiendo con las etapas de mayor desarrollo del cultivo. El maíz, al ser uno de los cultivos de mayor superficie y, por ende, de mayor interés para los agricultores del módulo en estudio, se procedió a realizar una primera estimación del Kc a través de una función encontrada en la literatura. Para este caso se usó la de Toureiro et al., 2016 ($Kc=0.918 \text{ NDVI}+0.303$), obteniendo este parámetro para las seis parcelas en las 18 imágenes disponibles en el periodo de estudio.

Conociendo la ETo y el Kc, fue posible estimar la ETc, obteniendo resultados aceptables en los cálculos, como puede observarse en la siguiente gráfica (figura 3) la tendencia de la ETc a través del periodo de tiempo al igual que el NDVI, la ETc con las etapas fenológicas de mayor consumo de agua o requerimiento de riego.

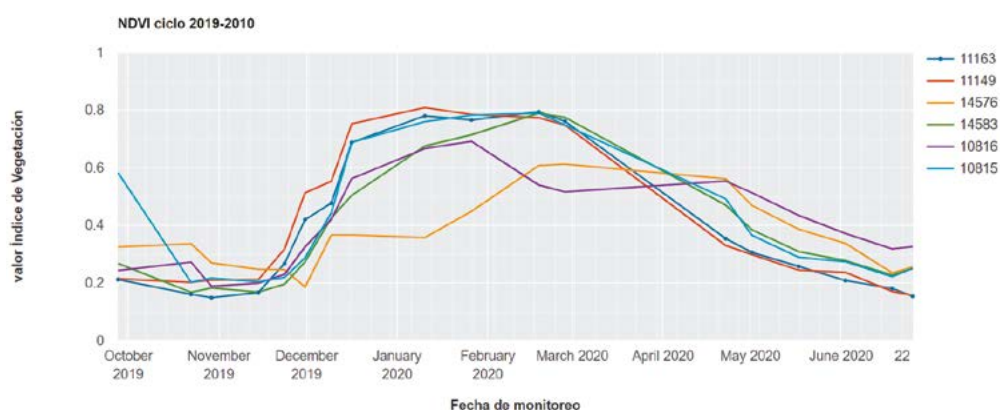


Figura 2. Gráfica de la serie temporal del NDVI en las parcelas..

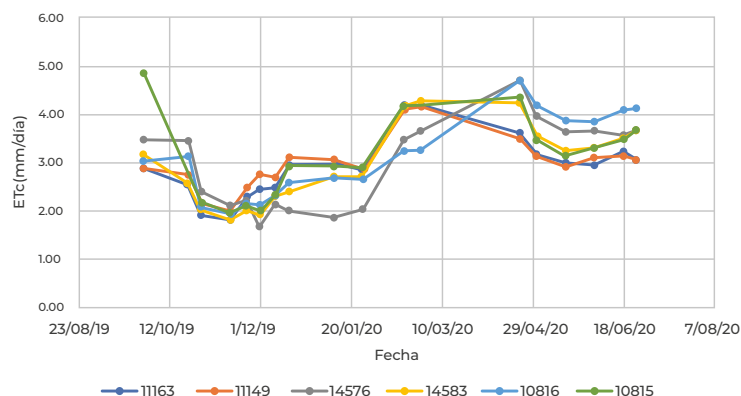


Figura 3.- Valores de evapotranspiración del cultivo calculado a partir del NDVI en seis parcelas de seguimiento en el estado de Sinaloa durante el ciclo agrícola 2020–2021.



Nexo agua-energía-alimentos

El IMTA continúa trabajando en el desarrollo de estrategias de tecnología y de generación de electricidad basado en minihidráulica y secado solar, así como en operar, evaluar y dar seguimiento al área demostrativa para apoyar la producción intensiva de alimentos en zonas rurales y urbanas.

Equipo de trabajo: *Ulises Dehesa Carrasco, Eduardo Venegas Reyes, Marcia Adriana Yáñez Kernke, Emir Delgado Quezada, Jose Alfredo Díaz Magaña e Irving Juvenal Alvarez Celso.*

En 2021 se realizó la evaluación experimental y caracterización del desempeño de las turbinas denominadas HYDRO-FS y turbina HYDRO-IT. Asimismo, se desarrolló el prototipo experimental de un deshumidificador de aire basado en energía solar mediante paneles fotovoltaicos y se instaló el área demostrativa basada en producción de alimentos y secado solar.

Los resultados del proyecto pueden ser replicados en comunidades rurales, para mejorar el desarrollo local y aumentar la producción básica de alimentos.

El desarrollo de tecnología de microhidráulica eventualmente puede llevar energía eléctrica a comunidades alejadas que cuenten con el potencial hidráulico necesario.

Con la propuesta se busca desarrollar estrategias específicas que garanticen la producción de alimentos a nivel local. En consecuencia, esto mejorará el nivel económico de los usuarios, ya que podrán producir algunos de sus insumos básicos.

Con el desarrollo de la microturbina se pretende desarrollar nuevos modelos de impulsores mecánicos de baja carga, lo cual puede generar nuevos diseños que se traducirán en posibles patentes o modelos de utilidad.





Las actividades propuestas están enfocadas en la línea de investigación del nexo agua-energía y sistemas productivos, enfoque que aborda la problemática de grupos vulnerables y que tiene el objetivo de desarrollar estrategias para impulsar la economía local a partir de proyectos productivos agroecológicos con participación social.

La sostenibilidad y aplicación de tecnología amigable con el medio ambiente, así como la implementación de unidades productivas, representan una solución de primera mano para garantizar la seguridad básica de alimentos. Si bien es cierto que este tipo de tecnología ha demostrado su factibilidad a corto plazo, el estudio para determinar la rentabilidad a mediano y a largo plazo es un factor clave para garantizar la sustentabilidad energética y económica. En México, una parte importante de la agricultura es atomizada, con un enfoque de subsistencia que depende de las lluvias estacionales, por lo que el desarrollo de estrategias específicas para garantizar la producción de alimentos en épocas de estiaje resulta en un tema prioritario.

Estas estrategias están orientadas para su desarrollo en ecosistemas frágiles, comunidades marginales, áreas naturales protegidas, regiones de mediana a muy alta vulnerabilidad, patrimonios arqueológicos, áreas de alta o escasa precipitación, incluidas las áreas de inundación o áreas de sequía intermitente, donde las condiciones de la problemática actual pueden exacerbarse por el aumento de los flujos turísticos que demandan agua, alimentos y energía, así como por los efectos del calentamiento global.



“La sostenibilidad y aplicación de tecnología amigable con el medio ambiente, así como la implementación de unidades productivas, representan una solución de primera mano para garantizar la seguridad básica de alimentos”.

AGUA Y AMBIENTE

- Actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021: hacia una mejor calidad en los cuerpos de agua
- Revisión de manifestaciones de impacto ambiental
- Humedal electroquímico para tratamiento de aguas domésticas
- Calidad del agua en lagunas con actividad pesquera



Actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021: hacia una mejor calidad en los cuerpos de agua

El cumplimiento de esta norma permitirá que los cuerpos de agua mejoren en su calidad, permitiendo su recuperación.

Equipo de trabajo: Norma Ramírez Salinas y César Calderón Mólgora.

La NOM-001-SEMARNAT-2021 regula las descargas de aguas residuales, estableciendo límites permisibles para una serie de parámetros. El IMTA contribuyó en el grupo de trabajo para el desarrollo de la actualización. En todo el mundo, la regulación de las descargas de aguas residuales ha impuesto un debate centrado en dos posiciones encontradas: una que hace referencia al cuidado de la vida y la sustentabilidad y otra los costos que implica el tratamiento del agua residual, que son necesarios para el cuidado del medio ambiente y que limitan la actividad económica en un territorio dado. Esta división binaria en los puntos de vista determina dos posiciones aparentemente irreconciliables que dificultan la posibilidad de acuerdos y que limitan la capacidad de escucha entre los involucrados.

La regulación de descargas por medio del cumplimiento de límites permisibles de contaminantes específicos en el agua para los efluentes representa la base metodológica de la mayoría de los marcos normativos en el mundo (Xenarios y Bithas, 2012). Los límites de descarga tradicionales incluyen una hipótesis implícita: que los estándares de nutrientes, oxígeno disuelto, metales pesados y bacterias protegen los valores de los cuerpos de agua receptores, y su falta de cumplimiento generalmente está acompañada de un sistema de multas financieras, conforme a la máxima de que el que contamina paga. Sin embargo, es justo reconocer que conforme se incrementa el conocimiento sobre cómo los sistemas acuáticos reaccionan a diferentes efluentes de agua residual, este modelo resulta cada vez menos efectivo (Hering et al., 2010), lo cual indica que esta estrategia metodológica puede resultar no suficiente para salvaguardar la vida y la salud.

En la modificación recientemente aprobada para la NOM-001-SEMARNAT-2021, al medir la calidad del agua de los cuerpos receptores con los parámetros habitualmente utilizados, como la DBO, hay un sub registro del nivel

de contaminación del agua: la prueba no es capaz de detectar contaminantes orgánicos no biodegradables, ni tóxicos presentes en los cuerpos de agua, provenientes de descargas como los efluentes de la plantas de tratamiento de aguas residuales. Por lo anterior, es necesaria la utilización de parámetros como DQO, toxicidad y color, que tienen mayor capacidad de detección de contaminantes y ofrecen mejores resultados para tipificar la contaminación del agua con el objeto de controlarla y reducirla.

Color verdadero es el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad, y que las estructuras químicas de las moléculas de colorantes resisten la exposición solar o el ataque químico, por lo que, en la mayoría de los casos, resultan también resistentes a la degradación microbiana. Además, existe evidencia científica de que ciertos colorantes pueden ser carcinogénicos y mutagénicos, además de que sus productos de degradación pueden resultar más tóxicos.

Por último, se incorporó la medición de la toxicidad, un medio de alerta para prevenir los riesgos ambientales y evitar análisis de una gran cantidad de sustancias que actualmente son vertidas a los cuerpos de agua sin estar caracterizadas ni normadas.

En Australia, Estados Unidos de América, Canadá, Reino Unido y Alemania son obligatorias las pruebas de toxicidad, la demanda química de oxígeno, la temperatura y el color. Incluso algunos países, como Canadá, incorporan límites específicos a efluentes en función de la actividad industrial que se requiere vigilar (p. ej. textil o minera).

Revisión de manifestaciones de impacto ambiental

El IMTA contribuyó, a través de sus áreas técnicas, en la revisión de manifestaciones de impacto ambiental. En 2021 atendió las siguientes solicitudes:

Contribución del IMTA en las manifestaciones de impacto ambiental	
No.	Manifestación de impacto ambiental
1	Extracción y desazolve para banco de materiales El Santo, ubicado en la Ranchería Centro Usumacinta de Balancán, Tabasco.
2	Extracción y desazolve para banco de materiales Chablé, ubicado en Villan Chablé, Emiliano Zapata, Tabasco.
3	Extracción y desazolve para banco de materiales El Cerro, ubicado en el municipio de Tenosique, Tabasco.
4	Desazolve del río Zapote para la descarga de aguas residuales tratadas y pluviales en la Ranchería Saloya, segunda sección, municipio de Nacajuca, Tabasco.
5	Agua Saludable para La Laguna: Captación, Potabilización, Conducción y Almacenamiento de Agua Potable, promovido por el Organismo de Cuencas Centrales del Norte, de la Comisión Nacional del Agua (Conagua).
6	San Marcos Solar I, que se pretende ubicar en el municipio de Zacoalco de Torres, estado de Jalisco, promovido por la empresa Prenergy Sustentable, S. A. de C. V.
7	Proyecto de construcción, modernización y rehabilitación de la PTAR San Antonio de los Buenos, en el municipio de Tijuana, Baja California, con actividad altamente riesgosa.
8	Sistema de riego en predio Las Margaritas, ubicado en la Ranchería Bajo Chablé, municipio de Emiliano Zapata, Tabasco.
9	Construcción de cabezal de descarga del río Viejo Mezcalapa.
10	CCC Riviera Maya (Valladolid), promovido por la Comisión Federal de Electricidad, que se pretende ubicar en el municipio de Valladolid, Yucatán.
11	Desazolve del río Zapote para la descarga de aguas residuales tratadas y pluviales en la Ranchería Saloya, segunda sección, municipio de Nacajuca, Tabasco.
12	Banco Arenal del Usumacinta, con pretendida ubicación en los municipios de Emiliano Zapata y Catazajá, estados de Tabasco y Chiapas, respectivamente, promovido por la empresa Arenal del Usumacinta, S. A. de C. V.
13	Trabajos de mantenimiento y rescate de la laguna de Tapeixtles y ramales principales, limpieza y desazolve de área hidráulica y canales interiores y canales exteriores.
14	Construcción de cabezal de descarga del río Mezcalapa.
15	Actualización de Obras y Actividades (proyecto), promovido por la empresa Compañía Minera Cuzcatlán, S. A. de C. V., con pretendida ubicación en el municipio de San José del Progreso, Oaxaca.
16	Tren Maya, tramo 5 - Caribe 2 Tulum-Cancún (MIA-Tren Maya T5)
17	Aprovechamiento de roca caliza por debajo del manto freático en los predios El Corchalito y La Adelita en Solidaridad, Quintana Roo, promovido por la empresa Calizas Industriales del Carmen, S. A. de C. V. (CALICA)
18	Distrito ICONIA, el cual se encuentra localizado en la avenida Periférico Norte S/N, esquina con la calzada Independencia, del distrito urbano Huentitán, Guadalajara, Jalisco.

Humedal electroquímico para tratamiento de aguas domésticas

El IMTA realizó la construcción y evaluación de tres sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, a escala laboratorio.

Equipo de trabajo: Axel Falcón Rojas, Liliana García Sánchez, Edson Baltazar Estrada Arriaga, Kristel Guadalupe Neri Nájera y Tetzopeli Zazanilli Hernández Herrera

Los sistemas incluyeron humedales artificiales empacados con tezontle, así como humedales y biofiltros electroquímicos empacados con un material de origen mineral, operados en corto circuito. Los sistemas fueron evaluados con dos profundidades distintas: 0.45 y 0.9 m. Éstos se alimentaron con agua residual de tipo doméstico, con un régimen de flujo ascendente.

Se encontró que los sistemas electroquímicos operados en corto circuito removieron la cantidad de materia orgánica, medida como DQO, suficiente para que el efluente cumpla con el límite permitido en la normatividad para poder ser descargado en ríos, arroyos, canales, embalses, lagos y lagunas, así como para su reúso en riego, siempre que no se incluya el riego de áreas verdes.

Los humedales artificiales empacados con tezontle presentaron un efluente con concentración de DQO mayor al límite máximo permitido. Este resultado concuerda con lo reportado en la literatura y con las proyecciones realizadas utilizando las ecuaciones de diseño para humedales artificiales y que sugieren un área 76 % mayor al área de los sistemas experimentales que se evaluaron en el presente trabajo.

Se realizó análisis de varianza para conocer si existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) que permita conocer si los sistemas electroquímicos tienen un mejor desempeño que los humedales artificiales, así como evaluar si la altura de los sistemas experimentales y la presencia de vegetación (*Juncus effusus*) tiene algún efecto en la eficiencia de remoción de los sistemas.

Se encontró que los sistemas electroquímicos evaluados tienen una mayor eficiencia de remoción en comparación con los humedales artificiales. También se identificó que no existe un efecto de la altura de los sistemas sobre el desempeño de los mismos. Tampoco existe una diferencia significativa entre los sistemas electroquímicos atribuible a la presencia de vegetación en el sistema.

Calidad del agua en lagunas con actividad pesquera

El IMTA generó la línea base para caracterizar la dinámica y calidad del agua en lagunas para promover y fortalecer la sanidad de los productos pesqueros.

Equipo de trabajo: Sofía E. Garrido Hoyos, Ariosto Aguilar Chávez, Efraín Mateos Farfan, Javier Sánchez Chávez, Edmundo Pedroza González y Sasirot Khamkure.

Con el propósito de evaluar la calidad del agua y sedimento para los tres cuerpos de agua en estudio: laguna de Coatetelco, presa El Rodeo y lago de Tequesquitengo, en el estado de Morelos, en época de lluvias de 2021, se realizó un programa de muestreo, en el cual se describe de manera general los cuerpos de agua a muestrear, la selección de sitios y parámetros de calidad del agua y sedimento; así como el desarrollo de las actividades de preparación de recipientes, preservadores y equipo; muestreo; y almacenamiento, transporte y entrega de muestras.

De acuerdo con los valores obtenidos y con la evaluación de calidad del agua y sedimento, se muestra que la laguna de Coatetelco presenta un estado de eutrofización por altas concentraciones de fósforo total, que condiciona los valores altos de pH presentes en la parte superficial del agua y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto. También presenta concentraciones elevadas de carbón orgánico total; sin embargo, la mayor parte corresponde a materia de fácil biodegradación, de acuerdo con la relación de 0.337 de DBO/DQO. Las concentraciones de coliformes fecales encontradas resultan no significativas, considerando su uso para la protección de la vida acuática.

Solo se encontraron valores de mercurio en agua ligeramente mayores a los recomendados por los Lineamientos de Calidad del Agua, Uso 3: Protección a la vida acuática; Agua dulce (Ley federal de derechos, 2018); los criterios ecológicos de calidad del agua, Calidad para uso pecuario: Grado de calidad del agua requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo por los animales domésticos, que garantiza la protección de su salud y la calidad de los productos para consumo humano (CE-CCA-001/89).

Con respecto a los metales encontrados en sedimento, solo el arsénico y el mercurio se encuentran por encima del recomendado por la Guía provisional de calidad del sedimento canadiense, sin embargo, el valor se encuentra por debajo del nivel de efecto probable.

La presa El Rodeo presenta un grado menor de eutrofización, con valores elevados de fósforo total, sin embargo, no se han dado las condiciones de una mayor actividad productiva que



condicione los valores de pH y reduzca más las concentraciones de oxígeno disuelto. Se presentan concentraciones relativamente bajas de carbón orgánico total, sin embargo, la mayor parte es de difícil biodegradación por su alta DQO, y es recomendable emplear métodos fisicoquímicos para su remoción. Esto de acuerdo con su relación de 0.082 de DBO/DQO. Estas condiciones pueden ser temporales, dado a que se encuentra a solo un 7.5 % de su capacidad total de almacenamiento al momento del muestreo.

La concentración de coliformes fecales resulta ser aceptable para su uso en la protección acuática; las concentraciones de salinidad indican que es un agua dulce.

Los metales en agua solo registran valores de mercurio por encima de lo recomendado por los Lineamientos de Calidad del Agua, Uso 3: Protección a la vida acuática, Agua dulce (Ley Federal de Derechos, 2018) y los criterios ecológicos de calidad del agua, calidad para uso pecuario: Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo por los animales domésticos, que garantiza la protección de su salud y la calidad de los productos para consumo humano (CE-CCA-001/89).

Con lo que respecta a los metales en sedimento, no se encontró ningún valor por arriba del recomendado por la Guía provisional de calidad del sedimento canadiense.

El lago de Tequesquitengo presenta un estado mesotrófico, lo que indica un nivel intermedio de productividad y se corrobora con su agua verdosa clara y niveles medios de nutrientes presentes. Las condiciones de pH y oxígeno disuelto son aceptables de acuerdo con los criterios ecológicos de calidad del agua para su uso pecuario y en la acuicultura. De igual manera, presentan concentraciones relativamente bajas de carbón orgánico total, pero de acuerdo con su relación de 0.064 de DBO/DQO, la mayor parte es de difícil biodegradación, y es recomendable emplear métodos fisicoquímicos para su remoción.

En dos puntos de muestreo del lago de Tequesquitengo se registraron valores de coliformes fecales por debajo de los valores de detección, lo que indica una calidad excelente en el apartado microbiológico. Una característica encontrada es su concentración elevada de salinidad y conductividad, características propias de aguas salobres.

En este mismo lago se encontraron concentraciones de zinc ligeramente arriba de lo recomendado por los Lineamientos de Calidad del Agua, Uso 3: Protección a la vida acuática. Con respecto a los valores de metales en sedimento, mercurio y plomo fueron los valores que se encuentran por encima del recomendado por la Guía provisional de calidad del sedimento canadiense, sin embargo, el valor se encuentra por debajo del nivel de efecto probable.



IMTA TRANSVERSAL

- **Proyectos Conacyt**
- **Bosque de Chapultepec: diagnóstico y propuestas para la gestión de los recursos hídricos**
- **Evaluación y atención integral de las lagunas de Mitla, Coyuca y Tres Palos, Guerrero**
- **Estrategias para la garantía de los derechos humanos asociados al agua: la sierra wixárika**



Proyectos Conacyt

La participación del IMTA en las convocatorias emitidas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha permitido contar con fondos adicionales para el desarrollo de la investigación científica y tecnológica.



En 2021, el IMTA desarrolló catorce proyectos con fondos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología:

Núm.	Nombre del proyecto	Jefe del proyecto
1	Fortalecimiento de Sistemas Comunitarios del Agua en Tres Cuencas del País.	Alejandra Peña García
2	Estrategias para la Garantía de los Derechos Humanos Asociados al Agua en Zonas Indígenas y Regiones Rurales de Difícil Acceso: la Sierra Wixárika, en la Cuenca Baja del Río Santiago.	Carolina Escobar Neira
3	Generación de un Inventario Nacional de Corrientes Marinas, Mareas y Procesos Asociados (Dinámica Sedimentaria) y su Variabilidad bajo Distintas Condiciones Ambientales.	Efraín Mateos Farfan
4	Plataforma Web Informativa Sobre Usos del Agua en la Agricultura Nacional (Cuarta Etapa)	Alberto González Sánchez
5	Diagnóstico General de la Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales con Influencia Industrial.	Liliana García Sánchez
6	Ampliación de los Alcances Institucionales en la Evaluación de Sustancias Tóxicas en Diversas Matrices Ambientales. Fortalecimiento de Infraestructura, Implementación de Métodos y Avances para su Acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA)	Norma Ramírez Salinas
7	Evaluación de la Disponibilidad de la Energía y la Potencia de las Olas: Determinación de las Condiciones Medias y Extremas de Oleaje en la Zona Costera	Jose Antonio Salinas Prieto
8	Vigilancia de la Sequía Agrícola y Evaluación de su Probabilidad de Ocurrencia en zonas áridas de México Mediante el Sistema del Índice de Estrés Agrícola (ASIS) de la FAO.	David Ortega Gaucin
9	Diagnóstico y Propuestas para la Gestión de los Recursos Hídricos en las Cuatro Secciones del Bosque de Chapultepec.	José Avidán Bravo Jácome
10	Análisis y Proyección de Inundaciones y Sequías en la Cuenca Grijalva-Usumacinta y Evaluación de sus Potenciales Impactos Hidrológicos y Socioambientales.	Martín José Montero Martínez
11	Evaluación y Atención Integral del Deterioro Ambiental y Productivo de las Lagunas de Mitla, Coyuca y Tres Palos y sus Cuencas en el Estado de Guerrero.	Julio César Soriano Monzalvo
12	Modelo Interdisciplinario para el Ordenamiento Territorial de Cuencas, Basado en la Cooperación entre Actores, el Manejo Sostenible de los Recursos Hídricos y el Ejercicio de los Derechos Humanos.	Anne Margrethe Hansen Hansen
13	Proyecto Conjunto de Investigación México-China para la Planeación y Desarrollo Ambiental y Socialmente Sustentable del Sector de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Etapa 1.	Ana Alicia Palacios Fonseca
14	Sistema de Soporte para el Pronóstico Meteorológico Operativo en Zonas Urbanas.	René Lobato Sánchez

Bosque de Chapultepec: diagnóstico y propuestas para la gestión de los recursos hídricos

En la nueva administración del Gobierno federal y de la Ciudad de México (CDMX) se ha planteado realizar el Proyecto del Complejo Cultural del Bosque de Chapultepec (BC) con el fin de incrementar los servicios que el bosque ofrece desde la perspectiva cultural, ambiental y social, entre otros.

Por lo anterior, cobra importancia realizar un diagnóstico actual del sitio en estudio que aborde de forma integral el área que conformará las cuatro secciones del BC a nivel de cuenca y estime los efectos que se producirían por su conformación para, posteriormente, establecer desde un enfoque multidisciplinario las aguas superficiales y subterráneas y la calidad del agua, así como las acciones que deberán implementarse para alcanzar la gestión sustentable de los recursos hídricos.

La información generada en este proyecto permitirá evaluar la factibilidad de las acciones que se emprenderán en el marco de la restauración del parque ecológico, a efecto de mejorar los servicios ecosistémicos que este ofrece a sus visitantes y a la CDMX.

Por cada objetivo específico se tiene una actividad, de las cuales se describe a continuación los avances y resultados obtenidos por cada una.

1. **Balance de los recursos hídricos y propuesta de medidas para su gestión sostenible con perspectiva a futuro.** Se descargaron y analizaron los volúmenes concesionados de aguas superficiales y subterráneas del Registro Público de Derechos del Agua (Repda) para determinación de la oferta de agua. Se construyó un modelo hidrológico de simulación continuo a nivel diario y se cuantificaron las demandas de agua en la zona. Se están generando las medidas de eficiencia de consumo de agua, como muebles sanitarios eficientes, riego eficiente, captación de agua de lluvia y reúso de agua tratada.
2. **Estudio de inundaciones y del impacto de las medidas para la mitigación de sus efectos.** Se realizó la caracterización fisiográfica y climática de la zona de estudio y se construyó un modelo bidimensional que abarca toda la zona. Posteriormente a la visita de campo se



dividió la zona y se construyeron cuatro modelos para realizar la simulación con un nivel de detalle topográfico de mayor precisión, se analizaron los resultados, se corrigieron errores del modelo digital de elevaciones, se identificaron los puntos de inundación conflictivos y se están analizando las medidas de reducción de inundaciones.

3. **Diagnóstico hidrogeológico y propuesta de técnicas MAR.** Se ha recopilado y analizado la información disponible y de estudios previos. Se han efectuado pruebas de infiltración en las cuatro secciones y se realizó la exploración geofísica. Los datos recabados en campo y las medidas de infiltración adecuadas se encuentran en proceso de análisis.
4. **Estudio de calidad del agua superficial y propuesta de medidas para su tratamiento.** Se ha realizado el muestreo y análisis de calidad del agua en época de estiaje de las descargas de aguas residuales identificadas y cuerpos de agua superficial, dando como resultados una mala calidad de las aguas. Está en proceso el muestreo de calidad del agua en época de lluvias y se están analizando los sistemas naturales de tratamiento adecuados.

El proyecto busca completar el balance hídrico actualizado y su proyección a futuro, considerando diversos escenarios de cambio climático, así como la ocupación máxima estimada de visitantes en un horizonte al año 2050. Igualmente, busca proporcionar los estudios hidrológicos e hidráulicos que permitan conocer el comportamiento hidrológico e hidrodinámico de las cuencas de aportación al BC, la identificación de sitios de conflicto ocasionados por el escurrimiento natural y el funcionamiento de las obras hidráulicas existentes en el bosque y sus alrededores, a efecto de definir la infraestructura verde que resulte necesaria para mitigar los efectos de las inundaciones. También pretende generar información geofísica de la zona de estudio para determinar estratigrafía, espesores y profundidad del basamento hidráulico en el subsuelo con el fin de identificar posibles cuerpos permeables susceptibles de colapsar al infiltrarse agua, así como los sitios más adecuados para el establecimiento de infraestructura verde tales como depósitos de infiltración, zanjas de infiltración, depósitos de retención, humedales, etc. e identificar el origen del agua y su edad a través de un análisis isotópico del agua de pozos o manantiales y su análisis fisicoquímico para el establecimiento de medidas necesarias para la conservación del agua.

Asimismo, se identificará la totalidad de las descargas de agua residual en el polígono del BC a través de su mapeo, obtener la caracterización de las descargas principales en función del caudal, tanto en temporada de lluvias y estiaje conforme a la NOM-001-SEMARNAT-1996, y se obtendrán datos del muestreo de cuerpos de agua considerando los parámetros de los Criterios Ecológicos. Con la información anterior se realizará el diseño los sistemas naturales de tratamiento, se analizará la factibilidad de la interconexión de descargas identificadas a la PTAR Chapultepec y del aprovechamiento del agua de rechazo de la ósmosis inversa de esta planta.



Evaluación y atención integral de las lagunas de Mitla, Coyuca y Tres Palos, Guerrero

En 2020 y 2021, el IMTA dirigió el desarrollo de una propuesta integral para la atención al deterioro ambiental, productivo y social en las lagunas de Mitla, Coyuca, y Tres Palos y en sus cuencas vertientes en el estado de Guerrero en el marco de los Programas Nacionales Estratégicos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), a través del desarrollo de un Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia en el que participaron la Alianza Estratégica para el Desarrollo Sustentable de la Región Pacífico Sur (Adesur), el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial A. C. (Centro Geo), el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (Ciatej), el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), y el Instituto Nacional de Investigaciones Pesqueras (Inapesca).

La iniciativa de proyecto de investigación e incidencia surgió a partir de un proceso de coordinación que fue generado por la gestión de los pescadores organizados de las lagunas de Mitla y Coyuca, quienes demandaban la atención urgente a los problemas de los sistemas lacustres más importantes de la costa grande de Guerrero, entre ellos, la alteración de la dinámica de los flujos de agua provocada por el azolvamiento, así como el gran incremento de las plantas acuáticas exóticas invasoras, situación que ocasionaba serios problemas al deterioro ambiental, productivo y social y, por tanto, al bienestar del gran número de familias que dependen de estos ecosistemas. El movimiento fue atendido a través del diálogo de diversas instituciones gubernamentales de los tres niveles de gobierno, entre ellas el IMTA. Este grupo interinstitucional fue exitoso en la atención de las demandas a través de la gestión de proyectos de desazolve del canal meándrico y de remoción de plantas invasoras, con el empleo de maquinaria y con la participación de los pescadores, quienes aportaron su trabajo para dichas tareas. Sin embargo, se observó la necesidad de generar una estrategia integral de mediano plazo a afecto de generar soluciones sostenibles, efectivas y duraderas.

La propuesta desarrollada tuvo como objetivos analizar y evaluar la situación actual y las principales causas del deterioro ambiental, económico y social bajo un enfoque



interinstitucional y multidisciplinario a nivel de cuenca, que permita generar conocimiento y realizar investigación de forma colectiva para identificar y proponer las estrategias participativas y acciones específicas colaborativas que permitan reducir y revertir dicho deterioro a través de la atención de sus principales causas y la implementación de acciones que permitan un mejor manejo del sistema hidrodinámico de las lagunas y sus cuencas, reducir la contaminación y mejorar la calidad del agua, establecer mecanismos para el mejor desarrollo de actividades productivas y constituir espacios e instrumentos de participación social y gestión de los recursos naturales; todo ello mediante el diseño, implementación y evaluación colectiva de estrategias y acciones integradas en un Programa Integral de Conservación y Desarrollo Sostenible de



las Lagunas y sus Cuencas (PICDSL), con el fin de generar condiciones de sostenibilidad social, productiva y ambiental.

En el desarrollo de la propuesta se generaron espacios de comunicación y reflexión, así como para la recuperación de conocimientos originarios de las comunidades a través de la integración de tres comités asociados al proyecto: 1) comité directivo, que correspondió a un espacio interno de reflexión y diálogo para la generación de acuerdos, planeación y seguimiento del proyecto, 2) comités sociales, desarrollados en cada laguna y su cuenca vertiente, creados con el propósito de trabajar el proyecto de una forma participativa en una visión de diálogo de saberes, con una intensa intervención de los actores locales y 3) comité institucional, en el cual se vincularon los trabajos de investigación-incidencia con las políticas públicas, las acciones y decisiones que se realizan desde las diferentes

instituciones que inciden en el territorio. Por otra parte, investigadores y actores sociales se agruparon en 12 equipos temáticos: 1. caracterización-diagnóstico de las cuencas de las lagunas costeras; 2. dinámica geomorfológica, hidrológica e hidráulica de las lagunas; 3. aguas superficiales; 4. erosión/sedimentación y azolvamiento; 5. calidad del agua; 6. contaminación y tratamiento del agua; 7. comunidades bióticas; 8. productividad primaria; 9. aprovechamiento pesquero y acuícola; 10. plantas acuáticas invasoras; 11. marco socioambiental y biocultural/organización, participación y diálogo de saberes; y 12. políticas públicas y presupuesto. Cada uno de estos grupos contaba con acciones y estrategias claramente definidas en torno al PICDSL, en el que se buscaba su desarrollo, implementación, mantenimiento y la mejora continua de las estrategias de recuperación, conservación y manejo integral de estos ecosistemas de gran importancia para la región.

Estrategias para la garantía de los derechos humanos asociados al agua: la sierra wixárika

El proyecto ha realizado procesos de consulta y construcción de diagnósticos participativos, incluyendo siempre la voz de niñas, niños, mujeres y hombres, mediante la realización de asambleas comunitarias, encuestas, entrevistas extensas, mapeos participativos, talleres y procesos dialógicos con grupos focales, entre otros. Con base en la experiencia, y para fines de la convocatoria, entre abril de 2020 y abril de 2021 se diseñaron y adaptaron una serie de instrumentos de diagnóstico y monitoreo, así como materiales didácticos para la promoción de prácticas de higiene y saneamiento.

Estos instrumentos y materiales fueron elaborados por parte del equipo interdisciplinario del proyecto 309199: Estrategias para la Garantía de los Derechos Humanos Asociados al Agua en Zonas Indígenas y Regiones Rurales de Difícil Acceso: la Sierra Wixárika, en la Cuenca Baja del Río Santiago y piloteados y ajustados durante una salida de campo en noviembre de 2020 por el equipo de Isla Urbana, en la cual se reafirmó el problema nacional centrado en la poca disponibilidad de agua en cantidad y calidad apropiadas que impacta la garantía de derechos humanos asociados al agua en esta población.

Los instrumentos finales fueron traducidos a la lengua wixárika, con la colaboración de un grupo de maestros wixaritari del Bachillerato Intercultural Tatei Yurienaka Iriaeya de San Andrés Cohamiata, para asegurar que dichos instrumentos sean inteligibles y culturalmente apropiados.

- **Etapas 1.** Abril-junio de 2020. Diálogo inicial. La propuesta inicial ganadora del fondo semilla fue utilizada como material de diálogo del equipo iniciador. Se analizaron el problema central, los objetivos específicos y sus alcances, tanto del proyecto semilla (con un año de duración) como de la propuesta para el proyecto en extenso (3-4 años de duración). También se inició el listado de necesidades y posibles fuentes de información. Como respuestas a las necesidades que se fueron planteando surgieron materiales de trabajo conjunto, tales como una carpeta compartida en la nube, documentos de trabajo comunes, matrices, definición de tareas individuales y colectivas y minutas. En esta etapa se definieron equipos y objetivos de manera temática para tener la posibilidad de maximizar el detalle de la planeación del proyecto. De esta manera se definieron seis objetivos temáticos y dos transversales, así como dos escalas de planeación/trabajo: una por la duración del fondo semilla y otra de 3-4 años para el desarrollo de la propuesta extensa.
- **Etapas 2.** Julio-septiembre de 2020. Desagregación y diagnóstico. A partir de las precisiones realizadas en



la etapa anterior, durante esta segunda etapa los equipos temáticos procedieron tanto a precisar el diagnóstico, incluyendo trabajo de campo en las comunidades, como a detallar en cronogramas las actividades y acciones asociadas a cada objetivo planteado. Un elemento transversal a esta desagregación fue el diseño metodológico basado en el diálogo con los saberes locales, desde el diagnóstico hasta la construcción de las soluciones propuestas, como ya se describió en la respuesta a la pregunta 1 del presente cuestionario.

- **Etapa 3.** Octubre–diciembre de 2020. Primera reagrupación. La elaboración de presupuestos y el pilotaje de los instrumentos de campo posibilitaron un primer ejercicio de integración del trabajo de los equipos, derivado principalmente de las actividades comunes a todos los temas. El cuestionario piloteado consideró los diferentes temas propuestos, y se aplicó en una de las localidades de estudio para validar dicha herramienta. Con base en el resultado obtenido se realizaron los ajustes correspondientes para facilitar una comunicación más horizontal y fácil de comprender entre los investigadores y la población local respecto a la problemática y posibles propuestas de solución de ambas partes. Paralelamente se programó un ciclo de seminarios para la nivelación y sensibilización de los equipos participantes en aspectos relevantes al marco común de trabajo. Los talleres de profundización de Conacyt aportaron orientaciones con las que se revisó el trabajo realizado hasta el momento.
- **Etapa 4.** Enero–abril de 2021. Segunda desagregación e integración final. La elaboración de las matrices de incidencia, investigación, metas y variables visibilizó la necesidad de reorganizar la presentación del trabajo realizado por los equipos temáticos hasta el momento. Como en cada una de las etapas, se realizó una sucesión de momentos de trabajo colectivo, grupales e individuales, para ajustar la integración. Se realizó la consolidación de los componentes a través de una nueva desagregación, esta vez de los objetivos temáticos, para dar forma a los objetivos de investigación e incidencia específicos que se integraron en la redacción final de los objetivos generales de investigación e incidencia y su meta asociada. Se continuaron los seminarios de la etapa anterior y se incorporaron talleres dirigidos que se describen con mayor profundidad en la respuesta 3 a este cuestionario.

La determinación de los objetivos generales de incidencia y de investigación, así como de la meta general asociada para la consecución del proyecto Estrategias para la Garantía de los Derechos Humanos Asociados al Agua en Zonas Indígenas y Regiones Rurales de Difícil Acceso: La Sierra Wixárika, en la Cuenca Baja del Río Santiago es el resultado de un proceso dialógico, sostenido a lo largo de 2021, entre la experiencia acumulada de forma previa por algunas de las personas participantes y la construcción de la experiencia en el colectivo constituido por las personas investigadoras, de la sociedad civil y de las comunidades participantes en este proyecto. Este proceso ha sido también flexible y adaptativo, en el sentido de que las acciones fueron iteraciones del proceso de construcción conjunta, cuya retroalimentación se ha traducido en ajustes en tiempo real. El proceso fue igualmente gestáltico, en tanto que se partió de una propuesta inicial que se desdobló a un alto nivel de detalle como parte de su proceso de construcción y, posteriormente, se reconstituyó en una propuesta madurada con una estructura diferente, pero respondiendo a las necesidades de investigación e incidencia identificadas en la etapa cero.



IMTA GLOBAL

- Conferencia Binacional sobre la Intersección del Cambio Climático y el Agua, la Agricultura y la Economía
- Coloquio Internacional: Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión Hídrica
- Encuentro de Transparencia Hídrica y Gobierno Abierto, Experiencias Internacionales
- Cooperación técnica internacional
- Participaciones internacionales



Conferencia Binacional sobre la Intersección del Cambio Climático y el Agua, la Agricultura y la Economía

Celebrada el 24 y 25 de noviembre de 2021, esta conferencia tuvo por objetivo establecer vínculos de conversación entre el Reino Unido y México para incrementar la cooperación bilateral en esta materia.

El panel de alto nivel de apertura contó con la participación de Josefa González Blanco, embajadora de México en el Reino Unido; Martha Delgado Peralta, subsecretaria de Asuntos Multilaterales y Derechos Humanos de la Secretaría de Relaciones Exteriores; Jonathan Day, director adjunto para la gestión del riesgo de inundaciones de la Agencia Ambiental del Reino Unido; Germán Martínez Santoyo, director general de la Comisión Nacional del Agua, y Adrián Pedrozo Acuña, director general del IMTA.

En el evento se dieron cita investigadores y académicos de instituciones y universidades de ambos países. Por parte de México se contó con diversos expertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, del Instituto Tecnológico de Sonora y del IMTA. En representación del Reino Unido participaron las universidades de Manchester, Exeter, Bristol, Cardiff, Birmingham y Londres.

Los expertos intercambiaron investigaciones y enfoques para abordar las diversas problemáticas de cambio climático, logrando así fortalecer los vínculos de cooperación e intercambio científico y tecnológico.



Coloquio Internacional: Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión Hídrica

Este coloquio virtual fue celebrado durante el mes de junio de 2021. El evento, organizado por el IMTA, tuvo por objetivo difundir y ampliar el conocimiento sobre el uso de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica, así como identificar y discutir las áreas potenciales de investigación científica, con el fin de fomentar la implementación de dichas soluciones.



La inauguración fue presidida por David Ricardo Cervantes Peredo, subsecretario de Ordenamiento Territorial y Agrario de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu) y Adrián Pedrozo Acuña, director general del IMTA. Durante las palabras de apertura, el subsecretario Cervantes reafirmó la intención y las acciones para reconocer, proteger y garantizar el derecho humano al agua en nuestro país. Hizo énfasis en la relación de los temas agrarios, el ordenamiento territorial y la participación de las comunidades, particularmente de las indígenas, en las acciones de prevención, solución de conflictos y de manejo del recurso hídrico.

Por otro lado, el titular del IMTA afirmó que el paradigma sobre el agua enfocado únicamente en lo tecnológico ya no es suficiente, a la luz de los conflictos mundiales sobre este recurso. Es importante tener una visión tecnológica y es fundamental considerar la equidad y la justicia. Lo anterior obliga a los

especialistas a reconectar agua y territorio, a través de los principios de la ética y la transparencia. Los científicos tienen el deber de dotar de información a los agentes encargados de la toma de decisiones y a toda la sociedad para generar acuerdos sobre esa misma información, trascendiendo las soluciones de gran escala con soluciones locales que permitan atender la contaminación difusa en las ciudades. La capacidad del IMTA se sustenta en la generación de tecnología y conocimiento en una labor colectiva nacional y global.

Se dieron cita expertos de Francia, Estados Unidos, Brasil, Reino Unido, Canadá, Colombia, España y México para compartir sus investigaciones en la materia y evidencia y, a través de casos de éxito, los beneficios colaterales obtenidos mediante la implementación de soluciones basadas en la naturaleza para el manejo del agua. También se debatieron los retos y barreras en la implementación de estas soluciones y cómo han sido afrontados.





Encuentro de Transparencia Hídrica y Gobierno Abierto, Experiencias Internacionales

Con el objetivo de contribuir a la democratización del agua, a través de acciones que propicien la construcción de un gobierno abierto y colaborativo que garanticen el acceso universal a los servicios de agua y saneamiento, el IMTA organizó este encuentro, celebrado virtualmente el 15 de octubre de 2021.

Expertos de España, Argentina y Suecia se dieron cita para hablar sobre los desafíos y oportunidades que implica el desarrollo de esquemas que contribuyen a la gestión de los servicios de agua y saneamiento mediante el escrutinio y control de los ciudadanos, así como del desarrollo de mecanismos que promueven la transformación hacia un gobierno abierto.

El evento contribuyó al debate sobre los retos en política hídrica en materia de acceso a la información y se resaltó el papel de esta para la toma de decisiones. Se compartieron índices y plataformas de utilidad para la transparencia hídrica, así como los espacios accesibles para la ciudadanía en la defensa del derecho humano al agua. Se reiteró que la gobernanza del agua es intersectorial, y que existe una responsabilidad compartida entre gobiernos y ciudadanos.



Cooperación técnica internacional

Proyectos concluidos

2

Bolivia y Tegucigalpa, Honduras



Proyectos nuevos

3

Bolivia, El Salvador y Santa Lucía



Proyectos vigentes

6

Chile, 1; Honduras, 1; Jamaica, 1; Nicaragua, 2; y República Dominicana, 1.



Bolivia

Participantes: Antonio Quevedo Tiznado, Mario Alberto Montiel Gutiérrez, Juan Manuel Ángeles Hernández, Jorge Castillo González, Javier Ramírez Luna y Alberto González Sánchez.

El IMTA participó en la VIII Reunión de Comisión Mixta de Cooperación Técnica y Científica México-Bolivia, celebrada en julio de 2021 en modalidad virtual, en la que se realizó una evaluación de los proyectos que integraron el Programa de Cooperación Técnica y Científica 2018–2020.

Como parte de la evaluación, la Secretaría de Relaciones Exteriores presentó el avance y resultados alcanzados en los siete proyectos que se aprobaron en 2018. El IMTA y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (MMAyA) estuvieron a cargo de la implementación del proyecto Desarrollo de Capacidades e Intercambio de Experiencias en el Sector Riego, mismo que recibió la mención de proyecto destacado.

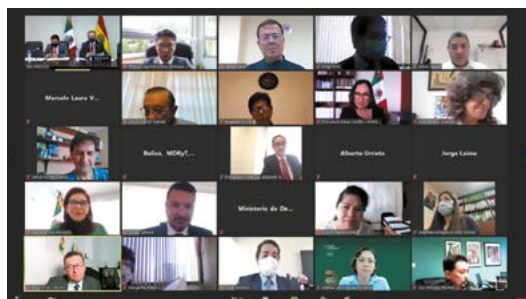
Este proyecto fortaleció las capacidades del personal técnico de las entidades involucradas en el sector riego en el aprovechamiento hídrico para fines de riego a través de un proceso de enseñanza-aprendizaje lineal teórico-práctico, buscando promover el riego como un modelo de desarrollo.

Para la implementación del proyecto se realizó una visita técnica a Bolivia para hacer un diagnóstico y elaborar la propuesta temática para el desarrollo de capacidades institucionales en 2018. Posteriormente se llevaron a cabo tres cursos de capacitación: Modernización de Zonas de Riego (octubre de 2019); Operación, Distribución y Mantenimiento de Sistemas de Riego (agosto de 2020), el cual estuvo acompañado de una asesoría técnica especializada en los mismos temas para atender necesidades específicas del personal del MMAyA (noviembre de 2020), y Formulación, Seguimiento y Ajuste de Planes de Riego (diciembre de 2020).

Durante el primer cuatrimestre de 2021, el IMTA proporcionó asesores para determinar la ruta propicia para la realización del Programa de Revitalización de Sistemas de Riego en Bolivia.

Durante el encuentro también se aprobó el proyecto Programa Nacional de Fortalecimiento al Desempeño Ambiental como parte del nuevo Programa de Cooperación 2021–2022.

Esta iniciativa será implementada por el IMTA y el MMAyA con el objetivo de desarrollar y fortalecer capacidades de desempeño ambiental en el sector minero del país y en las instancias de fiscalización y seguimiento ambiental en el marco de la complementariedad de derechos, obligaciones y deberes como parte de la gestión integrada de los recursos hídricos, así como para alcanzar los objetivos del desarrollo integral como medio para lograr el vivir bien en armonía con la madre Tierra.



80 horas de capacitación impartidas por el IMTA

100 técnicos bolivianos capacitados

Asesorías remotas al MMAyA



Chile

Participantes: *Liliana García Sánchez, Axel Falcón Rojas, Óscar Jesús Llaguno Guilberto y Raúl Medina Mendoza.*

En el marco del Fondo Conjunto de Cooperación México-Chile se desarrolla el proyecto Alianza Estratégica entre el IMTA y la Comisión Nacional de Riego de Chile (CNR) para Fortalecer Capacidades y Conocimientos en la Implementación de Programas de Desarrollo Productivo con Captación de Agua de Lluvia en Zonas Rurales Vulnerables de las Regiones de la Araucanía en Chile y de la Sierra Tarahumara en México.

Este proyecto tiene por objetivos aumentar la disponibilidad y mejorar el uso eficiente del recurso hídrico a nivel predial en las regiones de la Araucanía, en Chile, y la sierra Tarahumara, en México. Para ello, se elaboran dos manuales de modelos tipo de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) para su aplicación en riego agrícola y metodología para implementar programas de desarrollo productivo en zonas rurales, permitiendo así a los pequeños agricultores enfrentar los efectos del cambio climático.

Como parte de las actividades de implementación de esta iniciativa, el IMTA y la CNR formalizaron en comité técnico conformado por expertos de ambas instituciones para la implementación del proyecto. Como primera actividad, los equipos técnicos celebraron un intercambio de experiencias, en el cual el IMTA compartió su conocimiento en proyectos de captación del agua de lluvia en México y el CNR en sistemas de riego en Chile. Esto permitió delimitar la problemática que



atraviesan ambos países en el uso eficiente de los recursos hídricos en obras de riego para contribuir a la seguridad alimentaria y a la adaptación al cambio climático.

También se efectuó una presentación virtual sobre las zonas de aplicación del proyecto para conocer su situación geográfica, demográfica y social, tanto de la sierra Tarahumara en México, específicamente del municipio de Guachochi, Chihuahua, como de la Araucanía en Chile.

El IMTA contribuyó en la proyección de la precipitación aprovechable esperada en la zona de la Araucanía, en Chile, y los estados de Morelos y Chihuahua, en México, basada en el análisis de precipitaciones históricas en dichas regiones. Con ello se confirmó la viabilidad del uso de sistemas de captación de agua de lluvia en las zonas de estudio.

Se recopiló y analizó información sobre técnicas de mejoramiento de suelo para la construcción de sistemas de almacenamiento de agua para incorporar la información en los manuales de construcción que se desarrollarán, y se determinaron las características para el diseño de los modelos tipo a nivel vivienda y del contenido del manual técnico en SCALL.

Estas primeras actividades sientan las bases para el trabajo que se deberá desarrollar durante 2022, a fin de alcanzar los objetivos del proyecto.

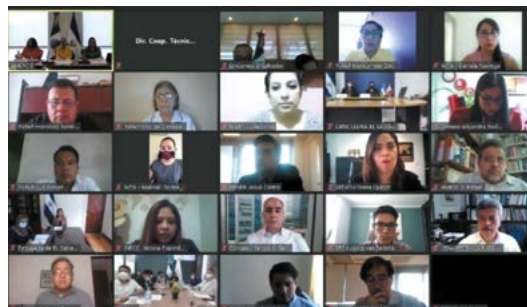
El Salvador

Participantes: *Carolina Escobar Neira, Alejandra Peña García, Arturo González Herrera y Juan Francisco Gómez Martínez.*

Durante la celebración de la X Reunión de Comisión Mixta de Cooperación Técnica y Científica entre México y El Salvador, acogida por la Secretaría de Relaciones Exteriores, por conducto de la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Amexcid) y el Ministerio de Relaciones Exteriores de El Salvador, se aprobó el proyecto bilateral Fortalecimiento de Capacidades para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales de El Salvador.

A través de esta iniciativa se contribuirá en la mejora de las capacidades administrativas y operativas de los sistemas de agua potable y saneamiento en las comunidades rurales de El Salvador. Las instituciones participantes por parte de México son el IMTA y la Comisión Nacional del Agua y por el Salvador participa la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

La primera actividad del proyecto, celebrada en noviembre de 2021, consistió en una presentación de las funciones de la Gerencia de Atención a Sistemas Rurales de la ANDA y de la situación de los sistemas de agua potable comunitarios en zonas rurales de El Salvador. Esto permitió identificar con mayor profundidad las temáticas y capacidades institucionales que deberán ser fortalecidas durante los procesos de capacitación previstos en el proyecto. Por parte de México se contó con la participación de funcionarios públicos de la Conagua, la Amexcid y el IMTA.



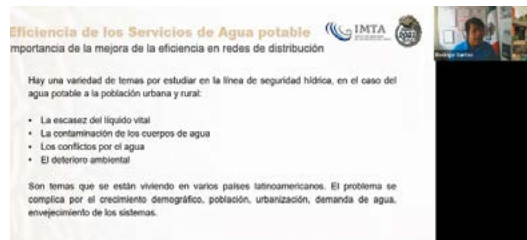
Honduras

Formación de Recursos Humanos en el Uso de Herramientas Computacionales para el Manejo de Drenaje Urbano

Participantes: *Óscar Jesús Llaguno Guilberto, Juan Maldonado Silvestre, Vladimir Contreras González y Héctor Giovanni Rodríguez Vázquez.*

Este proyecto bilateral México-Honduras, aprobado en 2019 durante la Comisión Mixta de Cooperación Técnica entre ambos países, concluyó satisfactoriamente con apoyo de la Amexcid.

El IMTA colaboró con la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC) de Tegucigalpa en la formación y fortalecimiento de las capacidades de sus funcionarios para comprender y emplear técnicas y herramientas computacionales para el manejo, la planeación y la gestión de los riesgos asociados



a los fenómenos hidrometeorológicos extremos en la zona de estudio.

Durante el 2019, el IMTA proporcionó cuatro cursos de capacitación: Simulación de Redes de Distribución de Agua Potable con Epanet; Modelación de Escurrimiento en Cuencas con el Software HEC-HMS; Uso del SWMM para Simulación de Aguas Sanitarias, Pluviales y Obras de Bajo Impacto; y Modelación Bidimensional de los Ríos Usando el Programa IBER.

Con el ánimo de consolidar el conocimiento de los participantes de la AMDC, se llevaron a cabo cuatro asesorías virtuales impartidas por el IMTA, dos de ellas celebradas en 2020 relativas al programa SWMM y HEC-HMS y, en 2021, las respectivas a Epanet e IBER.

Entre los resultados del proyecto destacan la construcción del modelo hidráulico de la red sanitaria de una colonia al norte de Tegucigalpa, la elaboración de un escenario para conocer los tirantes y áreas de inundación del río Choluteca en la zona recurrente de inundación y el desarrollo de capacidades para la modelación del proceso lluvia-escurrimiento de las cuencas de aportación de la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.

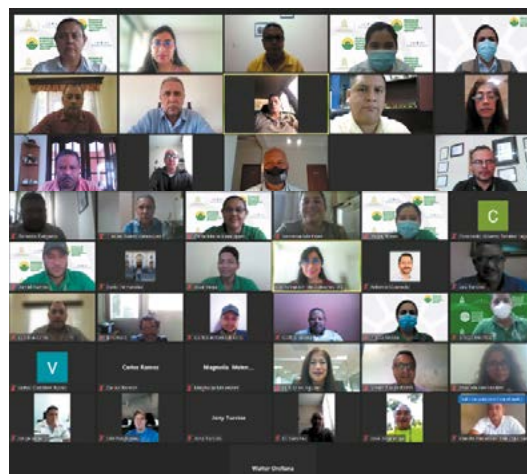
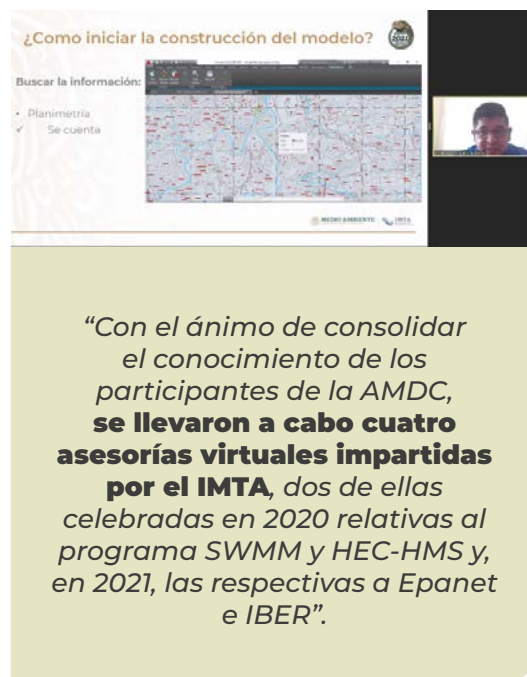
Con ello se fortalece a la nueva Unidad Municipal de Agua, Saneamiento y Drenaje Pluvial (Umaps) con la incorporación de 23 profesionales de relevo generacional (6 mujeres y 17 hombres), con la formación y las competencias requeridas, debidamente capacitados por expertos del IMTA.

Fortalecimiento de Capacidades Técnicas a Productores, Técnicos Transferencistas y Estudiantes en Tecnologías de Riego para la Agricultura en el Centro de Entrenamiento de Desarrollo Agrícola (CEDA).

Participantes: Antonio Quevedo Tiznado, Pedro Pacheco Hernández y Juan Carlos Herrera Ponce.

Como parte de las actividades de implementación este proyecto, el IMTA y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), con apoyo de la Amexcid, impartieron el curso en manejo de aguas y riegos en septiembre de 2021.

Esta actividad tuvo por objetivo que los participantes comprendieran los principios básicos involucrados en el manejo de riego. Para ello, se revisaron las generalidades del riego, los métodos más utilizados para la agricultura de regadío, qué es y cómo se efectúa un programa de riego, la relación entre agua, suelo, planta y atmósfera, y los desafíos que enfrentan los recursos hídricos utilizados para la agricultura, como el cambio climático. Con este curso se proporcionó conocimiento y técnicas para el uso eficiente del agua de riego.



Jamaica

Participantes: Norma Ramírez Salinas, Julia Prince Flores y Juan García Rojas.

Se inició la implementación del proyecto Evaluación Actualizada de la Confiabilidad del Flujo de Minerales de Jamaica y del Contenido Mineral, a cargo de la Autoridad de Recursos Hídricos de Jamaica (WRA, por sus siglas en inglés) y del IMTA.

Este proyecto pretende evaluar el potencial para el desarrollo de los manantiales minerales conocidos de Jamaica mediante la evaluación de la confiabilidad del flujo de manantiales, su rendimiento sostenible y disponible y el monitoreo de la calidad del agua.

Como primera actividad, la Coordinación de Calidad del Agua del IMTA impartió un curso sobre medición de flujo en canales abiertos para contribuir en el fortalecimiento de capacidades de la WRA en la medición del caudal de arroyos y el muestreo de la calidad de agua en los manantiales minerales.

Durante la inauguración del enveto se contó con la participación de representantes del IMTA, del embajador de México en Jamaica, Juan José González Mijares, del director de Hidrología de la WRA de Jamaica, Geoffrey Marshall y de la consejera Luisa Hortensia Solchaga López, directora de Cooperación Bilateral con Centroamérica y el Caribe de la Amexcid.



Nicaragua

Desarrollo de Técnicas y Herramientas para el Manejo, Cuidado y Almacenamiento de agua en Centros Escolares de Nicaragua.

Participantes: Luz del Carmen Zavala Vázquez, Joaquín Flores Ramírez, Liliana García Sánchez y Axel Falcón Rojas.

Con la participación del IMTA, de la Amexcid y del Ministerio de Educación de Nicaragua, se dio continuidad a los trabajos de implementación de este proyecto.

Tecnólogos del IMTA realizaron la primera y segunda fase del curso en cultura del agua y desarrollo sostenible. La primera fase se llevó a cabo en febrero de 2021 y se enfocó en la revisión del estado del agua en el mundo y las problemáticas hídricas en Nicaragua, así como en la planeación, implementación y evaluación de pláticas de cultura del agua de acuerdo con el estándar de competencias ECO180.

La segunda fase del curso, celebrada en noviembre de 2021, se centró en compartir experiencias en la gestión integrada de los recursos hídricos y en conocimientos básicos sobre educación ambiental.

Adicionalmente, se proporcionó una capacitación en ecotecnologías para el abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda y escolar. Su contenido versó en la revisión conceptual y de caracterización de las tecnologías apropiadas. Se presentaron las diferentes tecnologías existentes para atender necesidades de abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales y se explicó el proceso de selección de tecnología, enfatizando



en la importancia de promover la participación de los beneficiarios para la apropiación.

Se destacó que lo más importante de este tipo de tecnologías es su flexibilidad para incorporar aspectos sociales, respetando las características culturales, étnicas y religiosas de los usuarios.

Fortalecimiento de Capacidades en la Implementación de Metodologías para Identificar la Vulnerabilidad Hídrica de Nicaragua ante los efectos de la variabilidad y el cambio climáticos.

Participantes: *Iskra Mejía Estrada, Indalecio Mendoza Uribe, Eduardo Alexis Cervantes Carretero, María de los Ángeles Suárez, José Avidán Bravo, Margarita Preciado Jiménez, Vladimir Contreras González, Héctor Giovanni Rodríguez Vázquez, David Ortega Gaucin, Enrique Sánchez Camacho, Martín Montero Martínez y José Antonio Salinas Prieto.*

Con el apoyo de la Amexcid, el IMTA y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (Marena) de Nicaragua iniciaron la ejecución de este proyecto.

Durante la primera actividad, el IMTA compartió su conocimiento en materia de variabilidad y cambio climáticos. Se revisaron temas como cambios hidrometeorológicos en los patrones de precipitación y los métodos que se pueden emplear para el llenado de datos en análisis hidrológicos; los conceptos, características y tipos de sequía; el concepto de riesgo y sus componentes: peligro y vulnerabilidad, así como la metodología para construir índices y mapas nacionales de peligro, vulnerabilidad y riesgo de sequía.

Otro de los temas abordados fue la zonificación de áreas vulnerables a inundaciones a partir del estudio de factores como la duración de la inundación, el área afectada, la causa de la inundación, la profundidad del agua en cauces, datos de precipitación y censos de afectación a la población. Se abordó también la gestión de recursos hídricos bajo escenarios de cambio climático.

En la segunda actividad del proyecto, el Marena presentó información sobre el manejo de los recursos hídricos en Nicaragua, su modelo de gestión comunitario de los recursos hídricos, así como el uso de tecnología para el aprovechamiento sostenible del agua. Por su parte, el IMTA compartió las experiencias mexicanas en metodologías para la estimación de caudal ecológico.



República Dominicana

Participantes: Ana I. Wagner Gómez, Salvador Navarro Barraza, Susana Ortega López, Mario O. Buenfil Rodríguez, Sergio Armando Trelles Jasso y Jorge Arturo Casados Prior.

Como parte de la implementación del proyecto Fortalecimiento de las Capacidades Técnicas para la Implementación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento con Participación Comunitaria Organizada, el IMTA impartió el taller Formulación de Planes de Sostenibilidad y Monitoreo, Reporte y Evaluación de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado.

Durante el taller se caracterizaron los elementos para la formulación de planes de sostenibilidad en el ámbito rural y se definieron los indicadores de la sostenibilidad técnica, institucional, social, medioambiental y económica. Con ello, el personal del Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (Inapa) cuenta con capacidades fortalecidas para la formulación y evaluación de planes para la sostenibilidad en los servicios de abastecimiento, drenaje y saneamiento en comunidades rurales.

Así, el Inapa ha iniciado trabajos para la construcción del Plan de Sostenibilidad para el Acueducto San Francisco de Macorís, proceso que cuenta con la asesoría continua del IMTA y que deberá concluirse en 2023.



Santa Lucía

El IMTA participó en la Primera Reunión de Comisión Mixta de Cooperación Científica y Técnica entre Santa Lucía y los Estados Unidos Mexicanos, celebrada en el marco del Acuerdo Básico de Cooperación Técnica y Científica entre ambos países, suscrito el 4 de junio de 2014. El encuentro, realizado de manera virtual el 26 de octubre de 2021, tuvo por objetivo aprobar el Programa de Cooperación Bilateral 2021–2023.

Dentro de las áreas destacadas para ejecutar acciones de cooperación se encuentran los sectores hídrico, geoespacial y turismo sustentable. En ese tenor se aprobó el proyecto Disponibilidad de Agua en Cantidad y Calidad en una Cuenca Hidrográfica, que será implementado por el IMTA y la Agencia de Gestión de Recursos Hídricos de Santa Lucía.

El proyecto radica en ayudar a la Agencia a utilizar su conjunto de datos para generar información que sea representativa del estado de los recursos hídricos (validación, procesamiento y análisis de los resultados y búsqueda de fuentes de datos adicionales) y generar valores de evapotranspiración en cuencas y un balance hídrico en una cuenca, todo ello a través del desarrollo de capacidades para caracterizar los recursos hídricos en calidad y cantidad real de una cuenca para su manejo sostenible.

PARTICIPACIONES INTERNACIONALES



XIV Reunión de Comités Nacionales del PHI y Puntos Focales del PHI en LAC

- 26 y 29 de abril de 2021
- *Dr. Alberto Rojas Rueda, coordinador de Desarrollo Profesional e Institucional.*



Webinar Internacional: Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Ecuador y México

- 24 de junio de 2021
- *Dr. Agustín Breña Naranjo, coordinador de Hidrología*



Taller Internacional Virtual: Dinámica de Sistemas y la Modelación Hidrológica como Herramientas en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

- 29 de junio de 2021
- *Mtro. Alexis Cervantes Carretero, tecnólogo del Agua*



Implicar al Sector Privado en la Adaptación al Cambio Climático en la República Dominicana. Ponencia: "Huella hídrica, como herramienta para la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático"

- 8 de julio de 2021
- *Dr. Agustín Breña Naranjo, Coordinador de Hidrología*

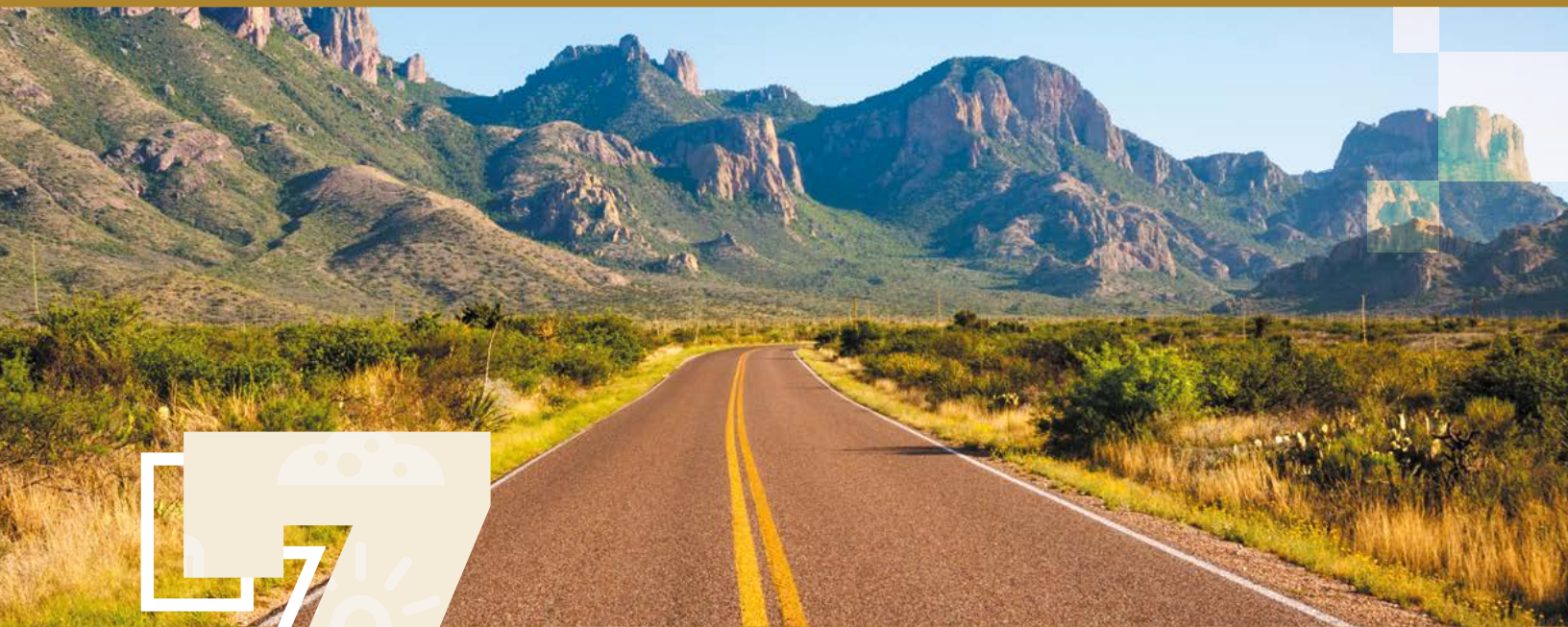


Programa Educativo de Perú Aprendiendo a Usar Responsablemente el Agua Potable. Ponencia: "Libro virtual Narraciones y leyendas del agua"

- 17 de julio de 2021
- *Mtra. Marina Ruiz Rodríguez, tecnóloga del agua*

CAPACIDADES PARA EL FUTURO

- Posgrado IMTA
- Espacio de Conocimiento IMTA
- 2ª Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua
- Segundo año de *El Acueducto*



Posgrado IMTA

Las acciones que se realizan en el posgrado del IMTA mantienen los compromisos y funciones en la formación de recursos humanos altamente calificados en materia de agua para contribuir al manejo sustentable de los recursos hídricos que requiere el país.

El IMTA desarrolla la enseñanza a nivel posgrado de forma directa o mediante acuerdos de colaboración con instituciones de enseñanza superior. Los programas que se desarrollan en forma directa son la maestría y doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua (MCTA y DCTA, respectivamente), la maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (MGIRH) y el nuevo programa de doctorado en Seguridad Hídrica (DSH). Los programas que se llevan a cabo en el IMTA como entidad participante en el Posgrado en Ingeniería de la UNAM son la maestría y doctorado en Ingeniería Civil/Hidráulica (MICH y DICH) y la maestría y doctorado en Ingeniería Ambiental/Agua (MIAA y DIAA).

La comunidad estudiantil en 2021 fue de 78 alumnos, con una participación de 68 profesores-investigadores del IMTA y 20 profesores-investigadores de instituciones externas. En el periodo escolar 2021-2 y 2022-2 se impartieron 18 154 horas, en 263 cursos a nivel maestría en cursos curriculares y extracurriculares.

En la operación del posgrado es necesario mantener el seguimiento académico de los diferentes posgrados, cuidar la eficiencia terminal e iniciar el proceso para el ingreso de los aspirantes al posgrado de la generación 2022-1. El proceso de ingreso inició con el lanzamiento de la nueva convocatoria y se promocionó en la segunda semana de enero y se tuvo previsto un ingreso de cuarenta alumnos a nivel maestría y seis de doctorado.

Los programas que están inscritos en el PNPC del Conacyt son los siguientes:

- Programas propios del IMTA: Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua y Doctorado en Seguridad Hídrica
- Programas como entidad participante de la UNAM: maestría y doctorado en Ingeniería Civil/Hidráulica (MICH y DICH) y la maestría y doctorado en Ingeniería Ambiental/Agua (MIAA y DIAA).



En este periodo se logró el objetivo de inscribir en la Dirección General de Profesiones el Doctorado en Seguridad Hídrica y gestionar su ingreso al PNPC del Conacyt, aprobado en septiembre de 2021, como un posgrado de nueva creación con una vigencia de tres años. La Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua fue evaluada por el PNPC en octubre de 2021 y fue renovada su aplicación por tres años como un programa en desarrollo.

El registro de eficiencia terminal por cohorte generacional, de todos los programas de posgrado que se desarrollan en el IMTA, al mes de diciembre de 2021, es de 66 %. La forma operativa académica del posgrado IMTA se sustenta en el Reglamento de Posgrado, el cual considera un Comité Académico por cada programa de estudio, que son responsables en el seguimiento del plan de estudios, la promoción de nuevas convocatorias y el cuidado de la eficiencia terminal.

Finalmente, como parte de la mejora continua en la calidad educativa de los posgrados del IMTA, se realizó una revisión del plan de estudio de la Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídrico. El trámite de registro de la actualización se realizará en el primer trimestre de 2022 en la Dirección General de Profesiones y tendrá aplicación en la generación 2023-1.

Espacio de Conocimiento IMTA

El Espacio de Conocimiento IMTA llevó a cabo durante 2021 eventos académicos y de divulgación en línea con el propósito de compartir investigaciones, fomentar el debate y sensibilizar a la población en temas de gran relevancia para el sector hídrico.

Este año se realizaron 69 seminarios, impartidos por 132 ponentes (114 mexicanos y 18 extranjeros), a los que acudieron 17 378 participantes registrados (97 % mexicanos y 3 % extranjeros). Se realizaron seis eventos especializados en temas como soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica, difusión de trabajos de investigación realizados por jóvenes científicos en temas de agua, transparencia hídrica, derechos humanos, políticas públicas y reformas normativas del agua y un foro para la construcción del Prosiagua-IMTA.

Desde la Nube fue otro de los contenidos del Espacio de Conocimiento en los que se incurrió. Este ciclo de sesiones virtuales surgió para compartir de forma accesible al público en general temáticas relacionadas con la labor que se realiza en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, tales como el cuidado del agua, la agricultura, mujeres en la ciencia, hidrometeorología, entre otros.



	Sesiones	Ponentes	Asistentes
Seminarios	17	23	4 168
Espacio de conocimiento	15	16	3 403
Desde la Nube	7	20	1 050
Coloquio	8	14	5 171
Diáspora Hídrica	4	50	492
Foro Deliberativo	14	0	2 183
Encuentro de Transparencia Hídrica	1	3	173
Coloquio sobre Derechos Humanos	2	4	493
Encuentro Internacional sobre Innovación y Políticas Públicas	1	2	245
Total	69	132	17 378

La Cátedra Unesco-IMTA, componente fundamental del Espacio tiene el objetivo de fomentar un sistema integrado de actividades de investigación, formación, información y documentación en el campo del agua y de la sociedad del conocimiento. Brinda a la población en general información relacionada con el agua mediante una plataforma de difusión sustentada en redes sociales, en las que se publican boletines electrónicos mensuales para promover eventos y seminarios nacionales e internacionales, cursos, talleres y concursos de fotografía, entre otras actividades.

Las publicaciones que integran el Espacio de Conocimiento se enfocan al fortalecimiento de un trabajo de vinculación entre las áreas del Instituto con otras instituciones, sectores y organizaciones afines para ofrecer un sustento tecnológico y científico para la toma de decisiones en torno al agua y al medio ambiente.

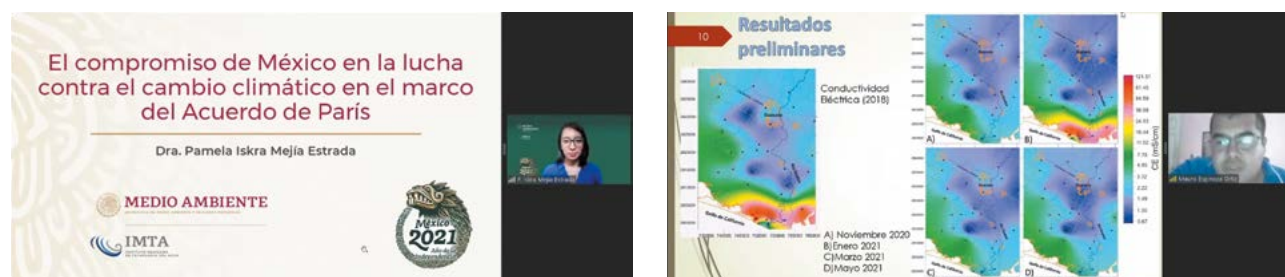


2ª Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, por segundo año consecutivo, organizó, en conjunto con la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto de Ingeniería y la Red del Agua, el Segundo Seminario Virtual Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua, celebrado del 3 al 6 de agosto de 2021.

La Diáspora Hídrica propició la oportunidad para identificar y reunir a jóvenes académicos que concluyen estudios de maestría o cursan un doctorado o postdoctorado, así como a profesionistas recién integrados al campo laboral, quienes forman parte de la nueva generación de profesionistas que trabajan para la solución de los problemas hídricos desde diferentes ámbitos.

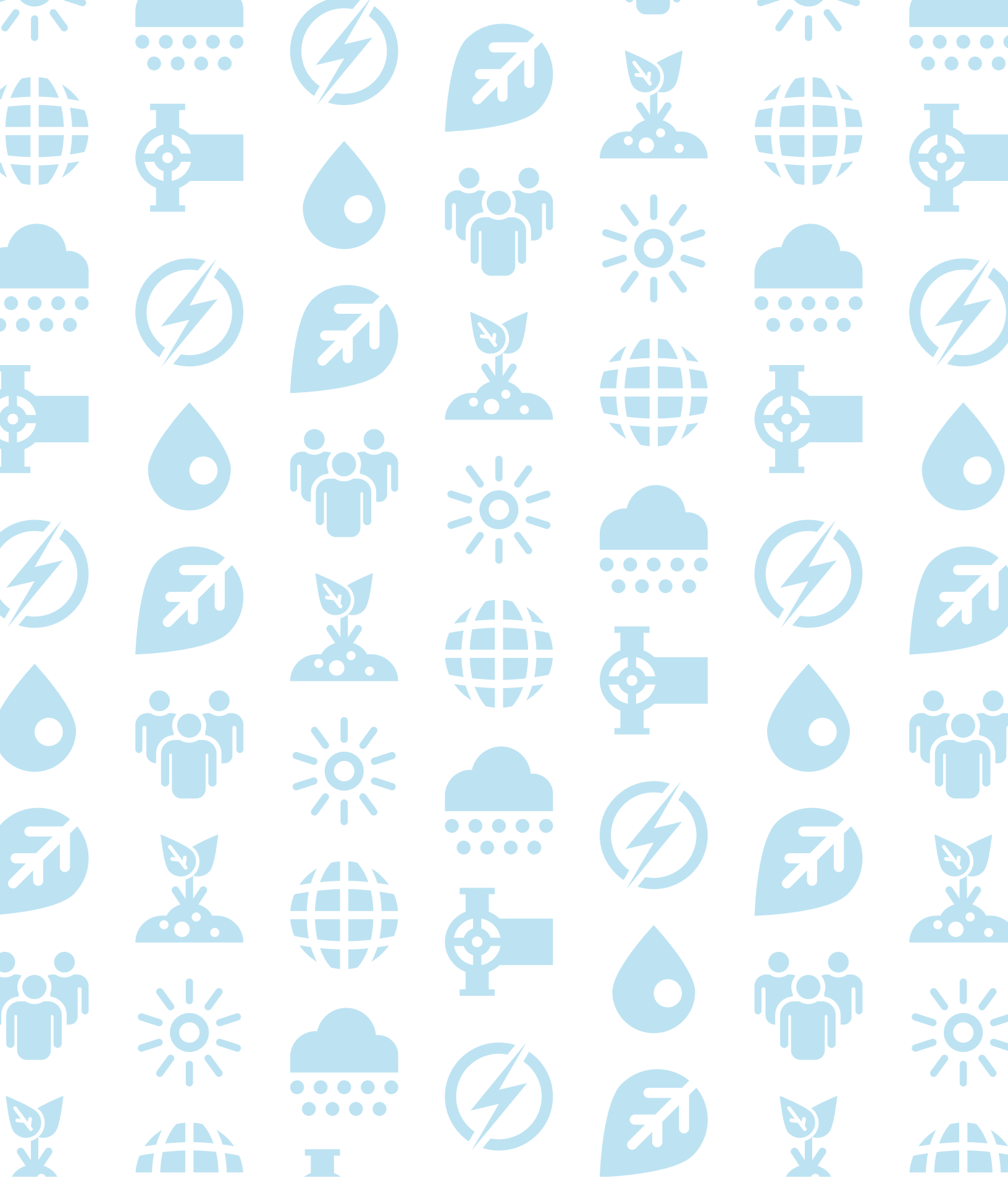
Este encuentro fue también una oportunidad para que jóvenes profesionistas presentaran sus trabajos en un formato oral, con apoyo de la tecnología y en un formato abierto al público con el fin de fomentar nuevas redes de colaboración.



Segundo año de *El Acueducto*

La gaceta institucional del IMTA, *El Acueducto*, 5ª Época, entró este 2021 en su segundo año de publicación. Durante el año se editaron cuatro números trimestrales (del 4 al 8), en los que se comparte el trabajo y los resultados obtenidos por las diferentes áreas del Instituto, así como notas de divulgación del conocimiento generado. La publicación tiene también la finalidad de fortalecer los vínculos de pertenencia a la Institución y fortalecer los lazos de colaboración de todas y todos los integrantes de la comunidad IMTA.





MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA