

Tecnología de Riego y Drenaje

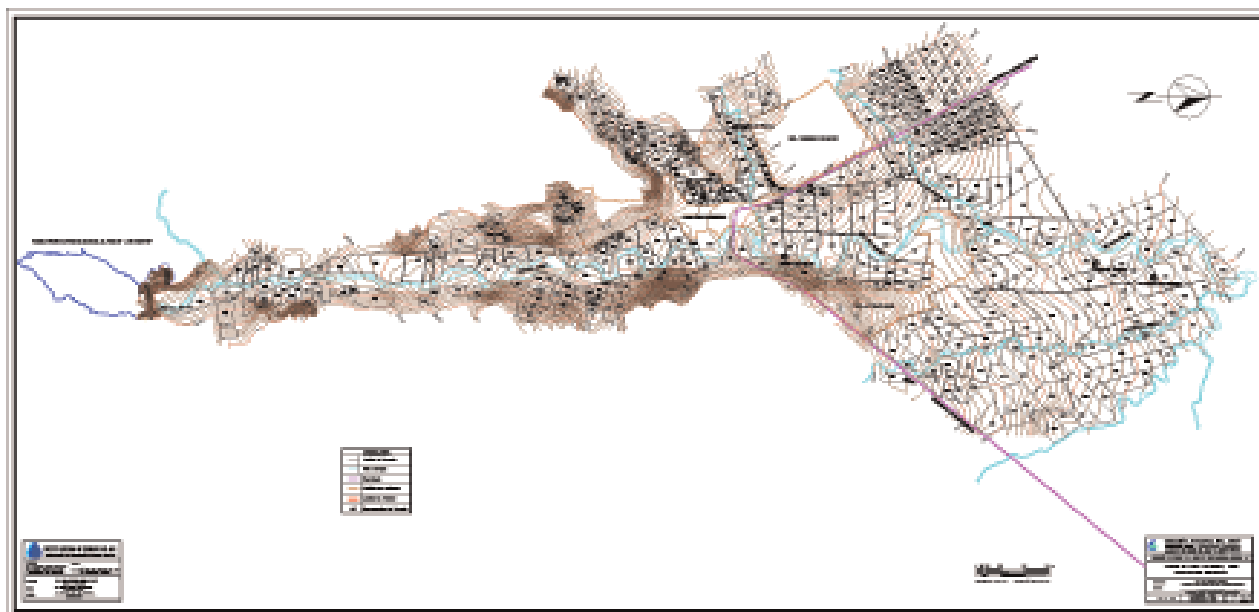
Ingeniería de riego

A solicitud de los productores del ingenio Cuatotalapam, Ver., y de la Sagarpa, el Instituto realizó un estudio sobre la reconversión productiva y tecnificación de la producción de caña de azúcar. El área de influencia del ingenio cubre una superficie de 50,000 ha, ubicadas al sur del estado en los municipios de Acayucan, Hueyapan de Ocampo y San Andrés Tuxtla. El ingenio tiene una capacidad de molienda de 560,000 t/año y se abastece con la zafra de 12,000 ha. Los sistemas agrícolas, pecuarios y forestales que predominan en la zona del ingenio se establecen para aprovechar de la mejor manera posible el agua de lluvia, ya que no existe infraestructura para aplicar riego suplementario ni drenaje parcelario. En la zona del ingenio la precipitación media anual es de 1,500 mm, con una distribución temporal que provoca inundaciones de los campos agrícolas en una época del año y genera sequía en otra, afectando el desarrollo y producción de la caña. El rendimiento de caña en las diferentes áreas del ingenio varía de 30 a 90 t/ha según el tamaño de la parcela, la calidad de los suelos y el nivel tecnológico utilizado por los productores. Entre los cultivos de la zona existen varios que superan en utilidad económica a la caña como son los cítricos, la yuca, la sandía, la papaya, el estropajo, el jitomate y la palma africana; sin embargo, la falta de mejoras territoriales ha limitado su crecimiento. Se realizó un diagnóstico de los sistemas agropecuarios para evaluar e identificar factores de demérito de la producción, cuantificar y ubicar las zonas según la aptitud de los suelos y elaborar los paquetes tecnológicos de los cultivos alternativos para la reconversión productiva. Igualmente, se seleccionó

una zona del ingenio que pertenece al ejido El Sauzal donde se elaboraron proyectos ejecutivos para instalar sistemas de drenaje superficial en 1,200 ha y riego por aspersión en 600 ha. Finalmente, se elaboró un plan de tecnificación para la caña que considera, en una primera etapa, la nivelación de suelos cada vez que se realice el volteo de cepa y la instalación y mantenimiento de drenes colectores y parcelarios superficiales. Para el mediano y largo plazos se deberá considerar la instalación de drenaje superficial y sistemas de riego por aspersión en 4,220 ha ubicadas dentro de un radio de 10 km de la fábrica del ingenio, así como la nivelación de suelos en 3,000 ha. Con estas acciones se estima que la producción de caña será de 110 t/ha y la concentración de sacarosa alcanzará el 11 por ciento.

Para sistematizar el acopio y análisis de la información agrícola e hidrométrica de los distritos de riego, la CNA cuenta con el sistema de cómputo *Sistag-CNA*, el cual fue desarrollado por el Instituto. Dicho sistema está en operación en los distritos de riego del país y es la base para la captura, proceso y transferencia de la información que se genera en los diferentes niveles de gestión de los distritos de riego. Para facilitar el uso del sistema, el IMTA capacitó a personal de los distritos y los módulos de riego en la creación y actualización de las bases de datos durante el desarrollo del ciclo agrícola. Mediante la aplicación del sistema, se editó, publicó y distribuyó, en forma electrónica e impresa, el informe estadístico agrícola e hidrométrico del ciclo 2002-2003, donde se concentra la información de producción agrícola, superficies regadas y volúmenes distribuidos en los distritos de riego.

La estimación de la evapotranspiración real de los cultivos (ET_r) constituye la base para la calen-



CONFIGURACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ZONA DE RIEGO. RED INTERPARCELARIA, UNIDAD DE RIEGO BACHINIVA, CHIHUAHUA

darización del riego. Considerando la dificultad de estimar directamente la E_t , se recurre al uso de dos factores: la evapotranspiración de un cultivo de referencia (E_{t_0}) y el coeficiente de cultivo (K_c). La E_{t_0} depende de las variables ambientales y el K_c del tipo y etapa del cultivo. En el distrito de riego 075 Río Fuerte, Sin., se utiliza el sistema *SPRITER*, desarrollado por el IMTA, que sirve para calendarizar el riego en tiempo real. Entre los parámetros que utiliza el sistema están los coeficientes de cultivo. Se realizó un experimento para comprobar la confiabilidad de los coeficientes K_c usados para calendarizar el riego en maíz, por ser uno de los cultivos de mayor importancia del distrito. Para ello, se instaló una estación agrometeorológica automática para estimar tanto la evapotranspiración de referencia como la real. Asimismo se cuantificó la variación temporal del K_c para el maíz durante un ciclo otoño-invierno, el cual mostró una correspondencia aceptable comparando los valores con los que publica la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Se llevó a cabo la evaluación de 21 sistemas de riego que cubren una superficie de 2,348 ha y benefician a 1,620 productores de diez municipios de Morelos. Se observó que al operar la red de conducción de baja presión se presentan problemas de variación de la presión y descarga de la válvula par-

celaria o hidrante, que provoca una distribución irregular del volumen entregado a los usuarios. Con la finalidad de uniformizar dichos volúmenes, el IMTA desarrolló un dispositivo regulador de gasto para reducir los efectos de variaciones de presión en los hidrantes, adaptando un prototipo de 6" para ser instalado antes de la válvula de riego, lo que permitirá una distribución equitativa independientemente de la presión que se genera en la red entubada. Para lograr lo anterior, se utilizó el prototipo comercial construido en aluminio para válvulas de riego de 8", el cual fue adaptado a una versión de 6". El prototipo es de fácil instalación y requiere de mínimo mantenimiento.

Contaminación y drenaje agrícola

En la cuenca de Laguna Seca, Gto., la sobreexplotación del agua subterránea ha provocado el abatimiento del acuífero, el deterioro de la calidad del agua y el aumento de los costos de bombeo. El aprovechamiento de las aguas subterráneas en esta cuenca inició en la segunda mitad del siglo pasado y tuvo su máximo crecimiento durante la década de los años ochenta. La extracción anual promedio ha sido de 297 hm³, destinados en su mayoría al uso agrícola y al abastecimiento urbano de los municipi-

pios de San Luis de la Paz, San José Iturbide, San Diego de la Unión y Doctor Mora, Gto., y del corredor industrial Querétaro-San Luis. Con el propósito de plantear medidas para el aprovechamiento sustentable del agua y la reducción del abatimiento del acuífero, la Sagarpa y el Cotas de Laguna Seca solicitaron al IMTA realizar un estudio sobre la operación sustentable del acuífero. Esta cuenca tiene una superficie de 244,000 ha, de las cuales 21,500 se cultivan bajo riego con forrajes, granos y hortalizas. El bombeo se efectúa en 1,126 pozos profundos distribuidos en la cuenca. En los últimos 35 años la profundidad media del nivel estático del acuífero pasó de 40 a 110 m con conos de abatimiento que alcanzan hasta 180 m. El continuo descenso de nivel se produce por la sobreexplotación cuyo déficit es de 150 hm^3 anuales, ya que la recarga es de sólo 147 hm^3 , la cual se estimó a través de un modelo numérico de simulación alimentado con las características físicas del acuífero, la distribución de los pozos y sus volúmenes de extracción, los volúmenes de retornos de riego y la evolución histórica de la piezometría. Con la participación del Cotas y de los productores se llevó a cabo el inventario de pozos, de los sistemas de producción y de la infraestructura de riego. Adicionalmente se realizaron evaluaciones electromecánicas, de sistemas de riego y de calidad de agua y suelo que permitieron plantear alternativas para disminuir el déficit y ordenar la operación del acuífero. Consisten en reducir la superficie en 5,560 ha o bien tecnificar con diversos sistemas de riego 15,813 ha. Esta disminución se podría aplicar de manera uniforme en el 25% del área de cada aprovechamiento, o mediante la cancelación de los 242 pozos con mayor abatimiento y menor calidad del agua. Con ambas propuestas se emplearían 130 hm^3 para el riego y 17 para el uso urbano e industrial, con lo cual se lograría estabilizar el acuífero.

Los productores rurales de Tláhuac, D.F. y la Sagarpa, solicitaron al IMTA efectuar un estudio sobre la calidad del agua proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella en Iztapalapa, D.F., con la cual se riegan aproximadamente 950 ha del ejido Mixquic. A fin de determinar la calidad bacteriológica del agua, con énfasis en el contenido de coliformes fecales, huevos de helminto, *Salmonella*



INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE SUBTERRÁNEO CONTROLADO PARCELARIO EN EL DTT 001 LA SIERRA, TABASCO

spp. y *Shigella* spp., se definieron seis puntos de muestreo en el sistema de distribución de agua y se realizaron muestreos y análisis de agua, cultivos y suelo. Además, se hizo un diagnóstico de la calidad química del suelo y del agua. Se observó que la calidad sanitaria del agua que llega al ejido es adecuada para el riego de cultivos, ya que su contenido de coliformes fecales y huevos de helminto cumple con la NOM-001-ECOL-1996. Sin embargo, las filtraciones y descargas accidentales de agua residual cruda proveniente del municipio de Amecameca, Méx., producidas por fallas en los canales de conducción, elevan las concentraciones de organismos patógenos. Se recomendó el adecuado mantenimiento de los canales y de sus estructuras de control para evitar la mezcla de agua tratada y agua residual cruda. Finalmente, se determinó que los niveles de salinidad y sodicidad del agua de riego no representan daños potenciales a las propiedades físicas del suelo ni a los cultivos.

En colaboración con la CNA, en el distrito de temporal tecnificado 001 La Sierra, Tab., se seleccionó una parcela demostrativa de 5 ha para la instalación de un sistema de drenaje agrícola subterráneo controlado, con objeto de drenar los excedentes de agua en la época de lluvias y retenerla durante el estiaje. Con base en las características hidrodinámicas de los suelos, la precipitación máxima y el cultivo a establecer, se determinaron el módulo de drenaje, la profundidad y la separación entre drenes. Se instalaron drenes de 4" de diámetro a 1 m de profundidad con separaciones de 30 m. En la des-



ZAFRA 2003-2004 EN EL MÓDULO DE DRENAJE SUBTERRÁNEO CONTROLADO PARCELARIO EN EL DTT 018 HUIXTLA, CHIAPAS

carga del sistema de drenaje se instalaron estructuras de control que permiten regular el nivel freático, y con fines de evaluación del sistema, se dejaron tres drenes a descarga libre para la medición del caudal y la toma de muestras del efluente. Durante el presente ciclo la parcela se sembrará con sandía.

En colaboración con el ingenio de Huixtla y el distrito de temporal tecnificado 018 Huixtla, Chis., durante 2004 se evaluó el impacto del drenaje sub-superficial en una parcela de 7 ha cuyo drenaje y renuevo de cepa se instalaron en noviembre de 2003. Se dio seguimiento al control del régimen de humedad del suelo en la parcela con drenaje y en una contigua con manejo tradicional. La evaluación refleja que la práctica del drenaje permite incrementar los rendimientos en un 25%, ya que se pasó de 80 t/ha en la parcela tradicional, a 100 t/ha en la parcela con drenaje y la concentración de sacarosa pasó de 9 a 11 por ciento.

El empleo del radar de penetración terrestre (GPR) es cada vez de mayor aplicación en diversas áreas del conocimiento, por tratarse de una técnica no destructiva que proporciona información del subsuelo en forma rápida y detallada. La relación entre las perturbaciones de las señales del radar y las propiedades eléctricas del material son la base fundamental de su aplicación. El GPR es una alternativa para estimar la profundidad del manto freático en grandes áreas como, por ejemplo, en los distritos de riego que presentan problemas de drenaje. La confiabilidad de la información freatimétrica depende de la calibración del equipo. Tiene la des-

ventaja de presentar alta atenuación de la señal cuando se usa en medios eléctricamente muy conductivos.

Se desarrolló un paquete de cómputo denominado TRANSOLUNI, que simula el transporte de solutos y la transferencia de agua en una columna de suelo. El sistema está implementado en lenguaje de programación *Delphi 5.0* con una interfaz gráfica en plataforma *Windows*.

Conservación de cuencas

Con recursos del Fondo Sectorial Conacyt-Conafor, el Instituto elaboró los programas regionales Hidrológico-Forestales para las regiones V Pacífico Sur, VII Cuencas Centrales y XI Frontera Sur. Con estos programas se busca identificar las áreas con necesidades de recuperación forestal y desarrollar estrategias para restituir la vegetación arbórea y arbustiva. La información básica se obtuvo de la cartografía del INEGI, de las estadísticas del INE y de imágenes de satélite. Esta información se analizó mediante el *SIG-Cuencas*, desarrollado por el IMTA, para determinar las necesidades de recuperación forestal de las regiones mencionadas, las cuales cubren una superficie aproximada de 7.6, 20.2 y 10.4 millones de ha, respectivamente. Con esta información se identificaron y clasificaron los usos del suelo en agricultura de riego, agricultura de temporal, bosque fragmentado, selva fragmentada, matorral, pastizal, zonas degradadas y otros. Para cada tipo de uso de suelo se discretizaron las áreas por rangos de pendiente del terreno de 0-8, 8-15, 15-30, 30-60 y mayor al 60%. En el caso de la región Pacífico Sur, se agregaron los rangos 60-100 y mayor de 100%, debido a que en dicha región se cultivan terrenos con fuertes pendientes. Para cada uso del suelo y rango de pendiente se definieron las necesidades y acciones de recuperación forestal. Las acciones se definieron para las áreas degradadas, las áreas naturales protegidas, las áreas con posibilidad de incorporarse al programa de pago por servicio ambiental hídrico, las áreas para la conservación y protección de cuerpos de agua, y las zonas de riberas sin cubierta vegetal de los principales ríos. Los resultados obtenidos muestran que para la región V



VISTA PANORÁMICA DE UNA ZONA FORESTAL

Pacífico Sur, que agrupa Oaxaca y Guerrero, se requieren recuperar 1.4 millones de ha. En la región VII, conformada por Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y Coahuila se debe restablecer la cubierta vegetal en 1.3 millones de ha. En la región XI integrada por Tabasco y Chiapas, se requiere intervención en un millón de ha. Para lograr la recuperación forestal en las superficies mencionadas, se identificaron, localizaron y cuantificaron por región, entidad federativa y municipio los siguientes modelos de reforestación: exclusión al pastoreo para propiciar la regeneración natural, esparcimiento e incorporación mecánica de semilla forestal, reforestación y control del pastoreo, reforestación y control de cárcavas, reforestación y prácticas de captación de lluvia, y establecimiento de barreras y cercos vivos. El costo promedio de recuperación es de \$3,500 por hectárea.

Desde 1994 el Instituto, en colaboración con la CNA y el Gobierno del Estado de México, ha promovido y difundido la aplicación de tecnologías de conservación de suelo y agua en la cuenca del río Cutzamala. Con el propósito de evaluar el grado de asimilación y adopción de dichas tecnologías por los productores, la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala solicitó al IMTA la realización de un inventario de superficies con aplicación sistemática de prácticas conservacionistas en la cuenca de Valle de Bravo. Mediante fotografías aéreas e imágenes de satélite se identificó la dinámica del cambio en el uso del suelo. Adicionalmente, se realizaron recorridos de campo en las áreas agrícolas, pecuarias y forestales, registrando en ortofotos los cambios de uso del suelo, así

como la aplicación de prácticas conservacionistas a nivel parcelario. Los resultados muestran que existen 21,500 ha de uso agropecuario y que en 7,204 de éstas, los productores aplican prácticas de conservación de manera cotidiana. Las principales prácticas identificadas son terrazas de formación paulatina con frutales y agaves, reconversión productiva con pino navideño, reforestación con especies nativas, cultivos de cobertera con avena, siembras al contorno y represas filtrantes de piedra acomodada y de gaviones.

Se desarrolló el sistema de evaluación de la erosión en agrosistemas (SEEA), que fue aplicado a la cuenca del lago de Pátzcuaro. Se trata de un sistema experto que permite estimar la cantidad de erosión a nivel de parcela en una cuenca. Para alimentar el sistema se elaboró una base de datos con los parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo. Dichos parámetros fueron la erosividad de la lluvia, la erosionabilidad del suelo, la pendiente,



PARTICIPACIÓN COMUNITARIA EN LA REFORESTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CUTZAMALA, ESTADO DE MÉXICO

la cobertura del suelo y las prácticas de conservación. Con el sistema fue posible estimar la tasa de erosión en una parcela en toneladas por hectárea al año. Asimismo, el sistema se puede utilizar para seleccionar las prácticas de conservación más apropiadas y predecir el impacto de la disminución de la erosión en cualquier parcela. Con la utilización del SEEA se facilita la toma de decisiones en cuanto a cambio de cultivo, aplicación de prácticas de conservación y reconversión productiva.

Operación y mantenimiento de infraestructura hidroagrícola

Con la participación de personal de la CNA y de las asociaciones de usuarios de riego, el Instituto realizó la evaluación de los programas de Rehabilitación y Modernización de Distritos de Riego y de Desarrollo Parcelario aplicados durante 2004 en los distritos de riego 053 Estado de Colima, Col.; 020 Morelia-Queréndaro, Mich.; 016 Estado de Morelos, Mor.; 010 Culiacán-Humaya, 063 Guasave y 075 Río Fuerte, Sin.; 014 Río Colorado, B.C.; 017 Región Lagunera, Coah. y Dgo.; 035 La Antigua, Ver.; 038 Río Mayo y 041 Río Yaqui, Son., y 066 Valle de Santo Domingo, B.C.S. En estos distritos se seleccionaron 44 módulos en los que se evaluaron 76 proyectos de tecnificación financiados con fondos de los programas mencionados. En la evaluación se consideraron el grado de cumplimiento de los programas, el impacto logrado, los beneficios y la percepción de los usuarios de los módulos. En las áreas donde se realizaron las obras, la eficiencia de conducción promedio pasó de 62 a 83%; la productividad de la tierra se incrementó en 24% al pasar de 9,507 a 11,808 \$/ha, mientras que la productividad del agua pasó de 1.35 a 1.92 \$/m³. En los 76 proyectos evaluados la relación beneficio-coste promedio resultó de 1.3, lo cual hace suponer que el pago de las aportaciones de los productores estaría asegurada. La percepción sobre las bondades de estos programas se obtuvo mediante 351 encuestas aplicadas a usuarios y técnicos de módulos, de sociedades de responsabilidad limitada y de distritos de riego. En general, los encuestados se muestran satisfechos por la forma de operar los programas en los

fideicomisos estatales y, para incrementar el impacto, solicitan apoyos en capacitación al personal técnico en los módulos de riego.

Con la finalidad de actualizar la información social, económica, técnica y productiva de los distritos de riego, apoyar los programas de rehabilitación y modernización y dar seguimiento a la gestión que realizan las asociaciones de usuarios, la CNA implementó durante 2004 un programa nacional denominado Planes Directores de Distritos de Riego. Para estructurar y analizar la información recabada en estos planes, la CNA solicitó al Instituto desarrollar el sistema de información de planes directores que actualiza e integra la información de los 84 distritos del país. El sistema permite de manera amigable actualizar el inventario de infraestructura y registrar las necesidades de rehabilitación e inversión, e información técnica y productiva a nivel de módulo de riego. Esta información se integra por distrito y se puede agrupar por entidad federativa, por región administrativa y para todo el país. El diseño del sistema permite la consulta organizada por tipo de acción, alcances y periodos de ejecución en los diferentes niveles operativos y de planificación. El sistema se validó con la base de datos del Plan Director del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Gto., elaborado por personal técnico de la CNA. El sistema se entregó a la CNA y se distribuyó al personal técnico responsable de elaborar los planes directores. Se realizaron talleres de capacitación a personal técnico de la Gerencia de Distritos y Unidades de Riego para el uso del sistema, captura y respaldo de la información.



RED DE DISTRIBUCIÓN EN EL DR 017 REGIÓN LAGUNERA, COAHUILA Y DURANGO



ESTUDIOS DE TELEMETRÍA EN EL DR 014 RÍO COLORADO, BAJA CALIFORNIA

Con el propósito de actualizar el inventario de unidades de riego en el país, la CNA solicitó al Instituto el desarrollo de un sistema de información de unidades de riego y la captura de datos de cincuenta unidades de riego de Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Querétaro, Morelos, Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo y San Luis Potosí. El sistema de unidades de riego *SUR* se diseñó y estructuró para capturar, consultar y analizar la información concerniente a la localización geográfica, las fuentes de abastecimiento, las características edafológicas y climáticas, los tipos de productores, los regímenes de propiedad, el estado de la infraestructura hidroagrícola, los principales cultivos, sus rendimientos y costos de producción, el pago de cuotas, los reglamentos y la organización. Las cincuenta unidades de riego tienen una concesión de 50 hm³ y riegan una superficie de 62,304 ha distribuidas entre 18,552 usuarios. En el proceso de obtención de la información participaron técnicos de las enti-

dades federativas mencionadas, a los cuales se capacitó en el uso del sistema.

A solicitud de la CNA, se apoyó a los productores de 88 unidades de riego de Aguascalientes, Baja California, Michoacán, Puebla y Tamaulipas en la organización y formación de asociaciones civiles de usuarios y en la elaboración de sus reglamentos. En Aguascalientes se formó la Sociedad de Producción Agrícola Cosío y se reglamentó la operación de nueve unidades de bombeo que abastecen a 1,572 ha que benefician a 305 productores. En Baja California se reglamentó la operación de seis unidades de bombeo que abastecen a 4,559 ha y benefician a 255 productores. En Michoacán se formaron las asociaciones civiles de diez unidades de riego de manantiales y se agruparon en la Sociedad de Responsabilidad Limitada Nuevo Urecho y Taretan. En Puebla se organizaron seis asociaciones civiles de 56 unidades de bombeo que riegan 3,300 ha distribuidas entre 4,834 productores. En Tamaulipas se or-

ganizaron siete unidades de riego de bombeo y se integró la Sociedad de Responsabilidad Limitada Sur de Tula. Para fortalecer la organización se proporcionó asesoría a 521 técnicos y directivos de las diferentes entidades federativas sobre aspectos de operación, conservación, riego parcelario y administración de unidades de riego.

En colaboración con la SGIH de la CNA, se elaboró un manual de procedimientos de operación de distritos de riego que toma en cuenta la nueva estructura organizativa y las responsabilidades de las jefaturas de distrito, de las sociedades de responsabilidad limitada, de las asociaciones civiles de usuarios y de los productores. Con estos procedimientos se busca facilitar la elaboración y seguimiento de los planes de riego, la programación y distribución del agua para riego y otros usos, el control hidrométrico, el manejo de canales, la generación de estadística hidrométrica y agrícola, y la actualización del padrón de usuarios. Asimismo, se proponen índices para evaluar la operación en sus diferentes etapas. En la elaboración del manual participaron técnicos de asociaciones de usuarios y de las áreas de operación de la CNA diez distritos de riego del país.

La CNA solicitó al IMTA la integración de proyectos ejecutivos y la instalación de sistemas de monitoreo del caudal en puntos de entrega-recepción de agua de la Comisión, las sociedades de responsabilidad limitada y los módulos de riego, a partir del inventario nacional de puntos de control de los distritos. Se elaboraron cien proyectos ejecutivos para la medición del caudal en canales de los distritos de riego 005 Delicias, Chih.; 017 Región Lagunera, Coah. y Dgo., y 063 Guasave, Sin. Cada proyecto incluye especificaciones de trabajo, catálogo de conceptos, plano tipo de sensor de velocidad y nivel, planos de casetas, guía de instalación y planos constructivos. En el distrito de riego 005 Delicias, Chih., se supervisó la instalación de 92 aforadores de garganta larga, su calibración y la configuración de los equipos de monitoreo de nivel.

A solicitud de la Gerencia Regional Península de Baja California de la CNA, el Instituto instaló y puso en operación los equipos de telemedición para la supervisión y operación remota de las obras de cabeza del distrito de riego 014 Río Colorado, B.C.

Los sitios instrumentados fueron la represa Galeana, la presa Morelos, la represa Matamoros, la represa 4+100 y la descarga del canal Sánchez Mejorada. Con la participación del personal de conservación del distrito se elaboró el *Manual de procedimiento de operación y conservación del sistema de telemedición*, de acuerdo con las características de los equipos instalados en cada sitio. Para facilitar la incorporación de la medición en la operación de las estructuras se capacitó al personal de operación y de hidrometría en la configuración, manejo y conservación del equipo instalado en cada estructura.

El cálculo de eficiencias de aplicación y conducción del agua en un distrito de riego requiere de la medición de los volúmenes de agua en los canales y los que se entregan en las parcelas. Para cuantificar el volumen aplicado a las parcelas en el distrito de riego 005 Delicias, Chih., se instaló el sistema de pronóstico del riego en tiempo real (*SPRITER*), que permite contabilizar el volumen aplicado a cada parcela y definir un balance del agua, con objeto de calendarizar los requerimientos de riego de los cultivos. El algoritmo de cálculo de eficiencias está implementado de tal manera que se determinan las eficiencias de aplicación por cultivo, en cada módulo de riego. Las eficiencias de conducción se distinguen por red menor y red mayor, de cada sociedad de responsabilidad limitada y de cada presa. Los requerimientos de riego se estiman en términos de gasto y volumen, de acuerdo con la demanda de riego y con la eficiencia de conducción, referidos a cada punto de control en los que se entrega o recibe el agua. Durante 2002, el Instituto realizó varios proyectos ejecutivos de estructuras de medición, que actualmente se están construyendo e instrumentando en la red menor de cada módulo de riego. En 2004, se desarrollaron los proyectos ejecutivos de los equipos de medición para la red mayor, que consisten en sistemas de medición de gasto con perfiladores de corriente de efecto Doppler de ubicación lateral. Dichos sistemas permiten dar seguimiento al volumen entregado a cada asociación de usuarios, con base en los requerimientos de los cultivos.

Lo anterior permite dar seguimiento en tiempo real al desempeño del distrito.