



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### DRENAJE AGRICOLA EN MÉXICO: DESARROLLO Y PERSPECTIVAS

José Rodolfo Namuche Vargas<sup>1</sup>, Heber Eleazar Saucedo Rojas<sup>1</sup>, Carlos Fuentes Ruiz<sup>1</sup>, Maria Dolores Olvera Salgado<sup>1</sup>, José Alfredo Díaz Magaña<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

rnamuche@tlaloc.imta.mx -Teléfono 01 777 329 36 00 ext. 106

#### Resumen

El área bajo riego con infraestructura hidroagrícola en México es de aproximadamente 6'500,000 ha: 3'550,000 ha en Distritos de riego y 2'950,000 ha en Unidades de Riego. De ellas, 500,000 ha aproximadamente tienen problemas de salinidad y drenaje. Los trópicos húmedos con aproximadamente 46'000,000 ha, poseen 7'500,000 ha con potencial agrícola y problemas de inundaciones en las planicies y deltas de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Pánuco, Usumacinta y en la costa de Chiapas. El IMTA ha desarrollado, adaptado y transferido tecnologías de drenaje subterráneo desde 1992 en zonas áridas y semiáridas y en zonas tropicales, en las primeras para rehabilitar suelos salinos y sódicos (100,000 ha instaladas), en las segundas con un área de 300,000 ha con nivel freático poco profundo y drenaje deficiente, las acciones se han enfocado al control del régimen de humedad permitiendo solo la evacuación de los excesos de agua (5,000 ha instaladas), con ello, la producción agrícola ha aumentado al menos en un 50%, con costos cinco veces menores que el de incorporar una hectárea al riego. Ante una tasa de aumento de la salinidad y problemas de drenaje de 10,000 ha/año del área de riego, se tiene el riesgo de disminuir la productividad agrícola en hasta el 25%. Por lo tanto, con solo rehabilitar 60,000 ha de suelo afectado por la salinidad y problemas de drenaje a través del drenaje de la tierra se contribuye con el 5% del objetivo nacional de producción de maíz para el período 2012-2018.

**Palabras clave:** zonas áridas y semiáridas, zonas tropicales, salinidad, régimen de humedad del suelo.



## DRENAJE AGRÍCOLA EN MÉXICO: DESARROLLO Y PERSPECTIVAS

José Rodolfo Namuche Vargas<sup>1</sup>, Heber Eleazar Saucedo Rojas<sup>1</sup>, Carlos Fuentes Ruiz<sup>1</sup>, María Dolores Olvera Salgado<sup>1</sup>, José Alfredo Díaz Magaña<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

rnamuche@tlaloc.imta.mx -Teléfono 01 777 329 36 00 ext. 106

### INTRODUCCIÓN

Todos los suelos contienen una cierta cantidad de sales solubles. Muchas de estas sales actúan como fuente de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, cuando la cantidad de las sales en el suelo excede de un valor particular, el crecimiento, el rendimiento o la calidad de la mayoría de los cultivos se ve afectada de manera adversa, dependiendo del tipo y la cantidad de sales presentes, la etapa de crecimiento, el tipo de planta, y los factores ambientales. Por lo tanto, el suelo que contiene exceso de sales de tal manera que disminuya su productividad se llama suelos afectados por sales o suelos salinos.

El agotamiento continuo de los nutrientes de los suelos, el anegamiento y salinización secundaria son algunos de los problemas que amenazan la sostenibilidad de los cultivos en las zonas de riego. Debido a estos procesos de degradación, grandes extensiones de tierras productivas han dejado de producir o están produciendo rendimientos inferiores al óptimo.

Una simple, pero completa definición de drenaje es la eliminación de un exceso de agua y las sales del suelo a un ritmo que permita el desarrollo normal de la planta. Un adecuado control de la salinidad y la alcalinidad sólo puede realizarse en suelos bien drenados. El agua debe ser capaz de transferirse a través del perfil del suelo para mover el exceso de sales de la zona de raíz, en suelos afectados por manto freático somero, esto no es posible sin drenaje.

### EL DRENAJE AGRÍCOLA

**a). En el ámbito mundial,** la historia del drenaje de los terrenos se remota a la antigüedad más remota. El historiador griego Heródoto (400 A.C.) se refiere a su aplicación al valle del Nilo, en el antiguo Egipto. Muchos escritores romanos (Catón, Virgilio, y otros) hacen mención de canales de drenaje y de la operación de drenaje, en alguna de sus fases, en la mayor parte de las antiguas naciones orientales. La irrigación y el drenaje eran bien entendidos y aplicados; así, hoy en día los actuales



persas poseen sistemas eficaces, aunque hayan olvidado su arte desde hace mucho tiempo.

Las marismas del Pontino de Italia, y los proyectos de La Gironda y Forez en Francia, son ejemplos notables de esta clase. Durante los años 1936 a 1938, los alemanes gastaron 320 millones de dólares para ganar nuevos terrenos al agua, y en 1938 anunciaron que se invertirían otros 400 millones de dólares en la recuperación de nuevos terrenos y en un incremento en el empleo de fertilizantes.

Hace más de un siglo (1835), se construyeron en Estados Unidos las primeras cañerías de drenaje. Eran de baldosas hechas a mano, y fueron instaladas en la hacienda “del padre de las cañerías de drenaje” John Johnston, de Geneva, N.; tres años más tarde fueron avenadas con éxito 346 hectáreas en Central Park, en la ciudad de Nueva York. Desde estas primitivas instalaciones se extendió rápidamente el drenaje de suelos.

La información exacta del grado de deterioro de los suelos agrícolas no está disponible para todos los países, pero una serie de estimaciones se han realizado sobre una base global. Dregne (1977) estima que 2 y 2.1 millones de hectáreas fueron afectadas por la salinización y drenaje deficiente, respectivamente. Massoud (1974) hizo una estimación de 932 millones de hectáreas, de las cuales 316 millones de hectáreas se encuentran en países en desarrollo. Balba (1980b) ha estimado a partir del mapa de la desertificación del mundo (FAO, 1977), que la superficie total sometida a la salinización y sodificación era cerca de 600 millones de hectáreas. Según Dudal y Purnell (1986), los suelos afectados por sales ocupan casi el 7 por ciento de la superficie terrestre del mundo. La extensión de los suelos afectados por sales en diferentes partes del mundo se presenta en cuadro 1.

**Cuadro 1. Estimación de la superficie afectada por sales en el mundo**

<b>Continentes o subcontinentes</b>	<b>Área (1000 ha)</b>
América del norte	15,755
México y Centroamérica	1,965
América del sur	129,163
África	80,436
Asia del Sur	85,110
Norte y Asia Central	211,448
El sudeste de Asia	19,983
Australia	357,568
Europa	50,749
<b>Total</b>	<b>932,185</b>

Massoud, 1974

En el norte de Estados Unidos se estima que desde 1992 a 2012, la superficie instalada con drenaje subterráneo pasó de 20 millones de ha a 40 millones de hectáreas (Sugg, 2007). Holanda, con prácticamente 4 millones de hectáreas en

agricultura tienen poco más del 50% con infraestructura de drenaje agrícola subterráneo.

La superficie instalada a nivel mundial prácticamente se ha duplicado en los últimos veinte años. Las razones asociadas a este comportamiento mundial es la tecnología. La disponibilidad de sistemas de predicción del rendimiento incorporados a las cosechadoras de granos ha evidenciado directamente a los productores que cuando pasan sobre una línea de drenaje subterráneo, la cifra predicha de rendimiento aumenta mientras que entre las líneas de drenaje el rendimiento baja. Esto ha traído como resultado que los productores estén instalando hileras de drenaje en espaciamientos intermedios, dejándolas espaciadas cada 10 a 15 m para cultivos como maíz y trigo, en comparación con la instalación previa a la tecnología

**b) En el ámbito de México,**

Con la finalidad de aprovechar la infraestructura hidroagrícola del Distrito de Temporal Tecnificado 002 Zanapa-Tonalá, Tabasco; drenes y estructuras de paso en caminos, se llevó a cabo el manejo del suelo y agua con drenaje superficial semicontrolado. Para lo cual se levantó el perfil longitudinal del dren y se diseñaron vertedores con la finalidad de mantener el nivel del agua a 60 cm abajo del nivel del suelo, permitiendo evacuar sólo los excesos y sin poner el riesgo la infraestructura (Figura 1).

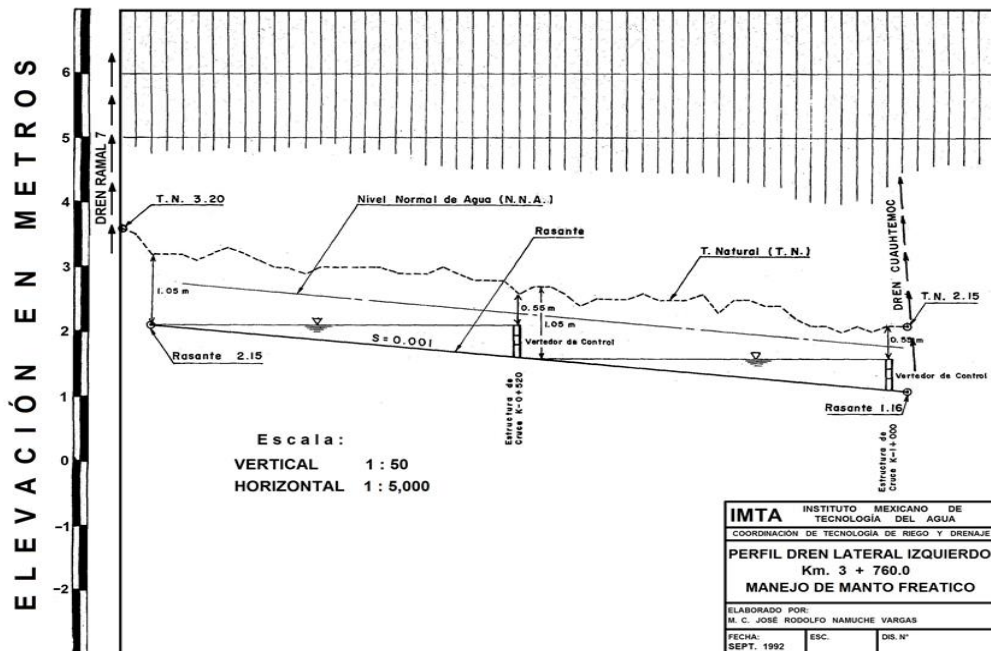


Figura 1. Diseño de los vertedores en el dren, drenaje superficial semicontrolado.

Se logró mantener un contenido de humedad en el suelo apta para el desarrollo del cultivo de pasto durante 45 días después de haber terminado el periodo de lluvias (Figura 2). También se evaluó la máquina zanjadora tipo Dondi en la construcción de 10 km de drenes superficiales parcelarios, con un rendimiento de 200 metros por hora. La capacitación en servicio ha permitido que a la fecha se hayan construido aproximadamente 80 km de drenes, obteniendo buenas cosechas y evitando enfermedades en las pezuñas del ganado vacuno (Figura 3), (Namuche, 1993).



**Figura 2. Manejo del régimen de humedad en el suelo con drenaje superficial semicontrolado**



**Figura 3. Drenaje superficial parcelario con zanjadora tipo Dondi**

En 1995, con la finalidad de implementar un programa para la rehabilitación de suelos con problemas de salinidad y drenaje deficiente, el Instituto Mexicano de tecnología del Agua (IMTA), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Asociación de Usuarios de Riego del Valle del Carrizo, Sinaloa; establecieron una parcela piloto de 40 ha. El terreno abandonado por más de 15 años se reincorporo a la producción mediante la instalación de un sistema de drenaje subterráneo parcelario con separaciones de 25 y 50 m; con una conductividad eléctrica de 20 a 80 mmhos/cm, un Por ciento de Sodio Intercambiable de 18 a 40 % y un pH de entre 7.5 y 9.0. y la aplicación de prácticas culturales ( subsoleo, rastreo cruzado y láminas de lavado). Se sembró el cultivo de trigo en diciembre de 1995 y se cosecho en abril de 1996 obteniendo un rendimiento de 5 ton/ha que representa un 20% más que la media del distrito (Figura 4). Se generó una metodología para la recuperación de suelos salinos con drenaje subterráneo parcelario en zonas áridas para México (Namuche *et al* 1996).



**Figura 4. Parcela con suelo salino abandonada por 15 años, rehabilitación con drenaje subterráneo.**

En 1997 la CONAGUA solicitó al IMTA realizar proyectos ejecutivos para 10,000 ha en los Distritos de Riego: 076 Valle del Carrizo, Sinaloa 2,800 ha, 038 Río Mayo, Navojoa 5,000 ha y 018 Colonias Yaqui, Sonora 2,200 ha; En la actualidad todas están instaladas y con buena producción (Namuche *et al.*, 1997).

En 1999 la CONAGUA solicitó al IMTA realizar proyectos ejecutivos para 4,000 ha en el Distrito de Riego: 014 Río Colorado Mexicali, B.C. En la actualidad todas están instaladas y con buena producción (Namuche *et al.*, 1999).

En el 2003 la CONAGUA solicitó al IMTA establecer un módulo de drenaje subterráneo parcelario controlado en una superficie de 5 ha, con separaciones entre drenes de 10, 15 y 20 m, localizado en el Ingenio de Huixtla, perteneciente al Distrito de Temporal Tecnificado 018 Huixtla, Chiapas. La separación que obtuvo los mejores rendimientos fue la de 20 m, en esta superficie el Ingenio obtenía rendimiento del orden de 40 ton/ha, con el drenaje subterráneo se incrementó hasta 110 ton/ha (Figura 5). Se generó una metodología para la recuperación para el manejo de régimen de humedad en el suelo con drenaje subterráneo parcelario controlado (Namuche *et al.*, 2003).



**Figura 5. Estructura de control, para el manejo del régimen de humedad en el suelo.**

En el 2004 la CONAGUA solicitó al IMTA establecer un módulo de drenaje subterráneo parcelario controlado en una superficie de 6 ha, con separaciones entre drenes de 10, 20, 30 y 40 m, localizado en el Ingenio de Tres Valles, perteneciente al Distrito de Temporal Tecnificado 035 Los Naranjos, Veracruz (Figura 6). La separación que se obtuvo los mejores rendimientos fue la de 20 m, en esta superficie el Ingenio obtenía rendimiento del orden de 30 ton/ha, con el drenaje subterráneo se incrementó hasta 100 ton/ha (Namucho *et al* 2004).



**Figura 6. Parcela con drenaje subterráneo controlado con cultivo de caña de azúcar.**

En el 2004 el Ingenio Cuatotolapan y el Ejido El Sauzal, Veracruz; solicitaron al IMTA elaboración de proyectos ejecutivos riego y drenaje. El área de influencia del ingenio es de aproximadamente 10,000 ha, se realizó un diagnóstico de necesidades de drenaje. Los resultados muestran la necesidad de establecer un programa de drenaje para la rehabilitación de 125 km de drenes naturales y 15 alcantarillas ubicadas en pasos de camino, y la construcción de 65 km de drenes parcelarios. En una primera etapa se diseñaron drenes superficiales del Dren Sauzal 6.2 km, Dren Sauzal margen Izquierda 2.1 km, Dren Sauzal margen derecha 0.7 km y Dren Seco 7.8 km y se elaboró el proyecto ejecutivo.

## **DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DEL DRENAJE EN MÉXICO**

Para el caso de México, se estima que un 15% de las aproximadamente 3'500,000 hectáreas ubicadas en distritos de riego, están afectadas 600,000 hectáreas por problemas de salinidad y drenaje deficiente. Se requiere por tanto mejorar la planeación, mediante una coordinación con los Distritos de Riego y el IMTA, a fin



de formular diagnósticos regionales que identifiquen las áreas afectadas por suelos salinos y, conjuntamente, establecer un programa a mediano y largo plazos de recuperación de suelos, por módulos y distritos de riego, en los que se sumen los esfuerzos y recursos de la alianza y de otros programas e instituciones (FAO, 2001).

Los programas que apoyan al drenaje parcelario son aplicados por Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y CONAGUA. Ambos consisten en apoyos del 50% al productor en procedimientos distintos, SAGARPA directamente a la persona moral o física, mientras que CONAGUA lo hace a través de las Asociaciones Civiles de Productores Agrícolas (AUPA) y Sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL), consistente con las Reglas de Operación de cada institución.

A pesar de las bondades del drenaje agrícola subterráneo parcelario, su extensión en México ha sido limitada. Mientras que en otros países con los que México tiene una relación comercial se han instalado millones de hectáreas con drenaje, en México se han instalado poco menos de 100,000 ha en 20 años, se estima una superficie instalada de 5,000 ha/año.

De acuerdo con Tanji *et al.*, (2002) entre 20 a 30 millones de ha están salinizadas en el mundo, si se compara esta cifra con los 278 millones de ha de riego en el mundo (Siebert *et al.*, 2006) esta cantidad representa un 10% de la superficie bajo riego. En México existe una situación similar, la diferencia es que en muchos países con infraestructura de riego, especialmente en Asia y América del Norte, se han instalado millones de hectáreas con drenaje subterráneo para controlar la salinidad.

Aplicando una tasa de incremento de problemas de salinidad y drenaje de 10,000 ha/año. Bajo este escenario, y teniendo en cuenta que se mantenga la tasa actual de instalación de sistemas de drenaje de aproximadamente 5,000 ha/año, entonces, la superficie agrícola de riego afectada por sales aumentaría a 675,000 ha en 2050 (aproximadamente 25% de la superficie bajo riego en distritos de riego) esta situación indica el impacto que se puede tener de no reforzar el programa de drenaje parcelario. El incremento en la superficie con problemas de salinidad y drenaje a 2050, implica, por ejemplo, si toda esa superficie se destinara al cultivo de maíz (175,000 ha), se dejarían de producir aproximadamente 665,000 toneladas de producto, las cuales tiene un valor aproximado en el mercado de 2,000 millones de pesos. De forma global, la superficie afectada en 2050 (675,000 ha) implica una producción de maíz de aproximadamente 8 millones de toneladas, las cuales significan prácticamente 25 mil millones de pesos de 2015.

Lo anterior, si bien se trata de un ejemplo, permite tener una idea de las dimensiones del problema que se puede tener al no impulsar un programa ambicioso de drenaje agrícola sobre la seguridad alimentaria del país.





Las brechas más grandes para el cumplimiento de la meta están en maíz, tanto blanco como amarillo, sorgo y caña de azúcar porque son cifras de millones de toneladas adicionales. En el siguiente grupo se encuentran tomate, café, trigo, frijol, soya y arroz, del orden de cientos de miles de toneladas.

En el Plan Nacional Hídrico se estableció el compromiso de rehabilitar 60,000 ha con problemas de salinidad y drenaje, si dicha meta se cumple, puede obtenerse a manera de ejemplo, para el caso del maíz blanco, un diferencial en incremento de rendimiento de aproximadamente 3.8 ton/ha (cuadro 1), es decir, se tendría un incremento en la producción de 228,000 ton de maíz blanco como producto de rehabilitar las 60,000 ha afectadas por problemas de salinidad y drenaje, lo cual representa aproximadamente un 5% de la meta de producción comprometida.

La recuperación del potencial productivo e incorporación a la producción de suelos agrícolas degradados, básicamente por problemas de salinidad y drenaje, es una alternativa que representa un monto de inversión por superficie menor que el necesario para la incorporación de nuevas zonas de riego, razón por la cual constituye una opción atractiva, a lo cual se puede aunar el corto periodo de retorno para la recuperación de las inversiones en materia de rehabilitación de suelos.

Considerando que el drenaje agrícola subterráneo parcelario, es parte de las políticas públicas de la actual administración, una buena justificación de su impacto en la economía nacional permitiría que el drenaje subterráneo se pudiera manejar independiente o aunado a un programa estratégico con apoyo presupuestal para acciones parcelarias.

Bajo el contexto anterior dentro de las Reglas de Operación de Conagua, debe señalarse que el drenaje parcelario está considerado dentro de las prioridades, metas y compromisos establecidos a nivel federal.

## **CONCLUSIONES**

El drenaje agrícola se encuentra entre las más rentables inversiones en modernización y rehabilitación de infraestructura hidroagrícola, ya que tiene periodos de retorno de la inversión del orden de tres años. Aparte de los beneficios directos sobre los procesos de transferencia de agua en el suelo que permiten controlar los niveles freáticos someros y abatir los problemas de salinidad, con lo cual se tiene un incremento significativo en el rendimiento de los cultivos, el drenaje agrícola muestra beneficios de tipo social al fomentar el arraigo de los productores a la actividad agrícola, asimismo, tiene impacto directo en la mejora de las condiciones del terreno con fines de extracción de las cosechas de las zonas agrícolas.



Debe tenerse en cuenta que el costo de rehabilitar una hectárea con problemas de salinidad y drenaje es del orden de cinco veces menor que el de incorporar una nueva superficie al riego.

La rehabilitación de 60,000 ha de suelos afectados por problemas de salinidad y drenaje, puede contribuir con el 5% de la meta de producción de maíz comprometida para el periodo 2012-2018, y con ello ser elemento importante para alcanzar la seguridad alimentaria.

En razón de lo anteriormente expuesto, se recomienda la creación de un programa especial de drenaje agrícola a desarrollarse de forma conjunta y coordinada por la SAGARPA y la CONAGUA.

## REFERENCIAS

- Balba, A.M. 1980b. Minimum Management Programme to combat World Desertification. UNDP. Consultancy Rep. Adv. Soil Water Res., Alexandria
- Castillo, J. G. *et al.* 2004. Tecnificación de una zona agrícola en el área de influencia del ingenio Cuatotolapam, Veracruz. IMTA.
- CONAGUA. 2014a. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Diario Oficial de la Federación. 08 de Abril del 2014. México, D.F. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014)
- CONAGUA. 2014b. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Plan Nacional de Desarrollo. Programa Especial. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. México, DF. 139 pp.
- CONAGUA. 2014c. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 379 pp.
- Dregne, H.E (ed.) 1977 Managing Saline Water for Irrigation. Proc. Intern. Conf. Managing Saline Water for Irrigation: Planning for future. Intern. Center for Arid and Semi-Arid Land Studies. Texas Tech. Univ. p. 618.
- Dudal, R. and Purnell, M.F. 1986. Lands resources: Salt-affected soils. Reclamation and Revegetation Res. 5:1-9
- FAO. 1977. FAO-Unesco Desertification Map of the World. Unesco. Paris.
- FAO, ISSS and ISRIC. 1998. World reference base for soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Society of Soil Science (ISSS-AISS.IBG), and International Soil Reference and Information Center (ISRIC). World Soil Resources Report No. 84. FAO. Rome. <http://www.fao.org/docrep/W8594E/w8594e00.htm>.
- FAO-SAGARPA. 2001. Programa Recuperación de Suelos Salinos. Informe Nacional. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 101 pp.
- Massoud, F.I 1974. Salinity and alkalinity as soil degradation hazard. FAO-Unesco Pub. Rome. 74: 10.



- Namuche, J. R. N. 1993. Drenaje superficial parcelario y manejo de agua y suelo en Distrito de Temporal Tecnificado 002 Zanapa-Tonala, Tabasco. IMTA:
- Namuche, J. R. N. 1995. Establecimiento de una parcela piloto de drenaje subterráneo parcelario en el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo. Sinaloa. IMTA.
- Namuche, J. R. N. *et al* 1997. Proyectos ejecutivos para 2,800 ha de sistemas de drenaje subterráneo parcelario en el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo. Sinaloa. IMTA.
- Namuche, J. R. N. *et al* 1999. Proyectos ejecutivos para 4,000 ha de sistemas de drenaje subterráneo parcelario en el Distrito de Riego 014 Río Colorado Mexicali B.C. IMTA.
- Ramos V. C.O. 1997. *Tecnificación Internacional de Ferti-irrigación*. Querétaro, México. Ingeniería Hidráulica en México. México.
- SEMARNAT. 2014. REGLAS de Operación para los Programas de Infraestructura Hidroagrícola y de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2014. Diario Oficial de la Federación. 27 de Diciembre del 2014. México, D.F. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5328237&fecha=27/12/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5328237&fecha=27/12/2013)
- Siebert, Stefan, Jippe Hoogeveen, Petra Dölla, Jean-Marc Faurèsb, Sebastian Feicka and Karen Frenken. 2006. The Digital Global Map of Irrigation Areas – Development and Validation of Map Version 4. Conference on International Agricultural Research for Development. Tropentag 2006. University of Bonn, October 11-13, 2006.
- Sugg, Zachary. 2007. Assessing U.S. Farm Drainage: Can GIS Lead to Better Estimates of Subsurface Drainage Extent? World Resources Institute. Washington, D.C. [http://pdf.wri.org/assessing\\_farm\\_drainage.pdf](http://pdf.wri.org/assessing_farm_drainage.pdf)
- Tanji, Kenneth K. and Neeltje C. Kielen. 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Rome. 188 pp.