

Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura

(FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID)

Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en México

Enrique Mejía Maravilla¹, Christina Siebe², Carlos A. Paillés³

¹ Comisión Nacional del Agua, México, Distrito Federal, enrique.mejia@conagua.gob.mx

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal, siebe@unam.mx

³ Fideicomiso de Infraestructura Ambiental de los Valles de Hidalgo, fiavhi@hotmail.com

Resumen:

México cuenta con 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable. La mayor disponibilidad se encuentra en el sur-este del país, mientras que en el centro y norte hay déficit hídrico. El 15% de los acuíferos están sobreexplotados, por lo que es imperativo implementar sistemas de reúso. Dado que el 77% del uso consuntivo es agrícola, se fomenta el intercambio de agua residual tratada por agua de primer uso en este sector. La zona más extendida regada con agua residual es el valle del Mezquital (>90,000 ha), donde aguas crudas, mezcladas, y sometidas a sedimentación se usan para regar forrajes, maíz, y algunas hortalizas. Existen numerosas investigaciones sobre los efectos del reúso del agua residual en esta zona, entre las que recientemente destacan las relacionadas con contaminantes emergentes, metales pesados y los relacionados con el uso eficiente del nitrógeno.

La perspectiva a futuro es regar con aguas tratadas, para lo cual se amplió la capacidad de tratamiento de 23% a 46% en la última década. Entre los sistemas de tratamiento domina el de lodos activados seguido por lagunas de estabilización. Existe normatividad limitada sobre calidad mínima de agua que puede usarse para riego, al igual que sobre calidad de biosólidos, pero se carece de instrumentos y capacidades suficientes para su vigilancia. En México existen capacidades y competencias en la operación de plantas de tratamiento y en el diseño de riegos tecnificados, pero falta regulación específica para el uso seguro de las aguas residuales tratadas en la agricultura.

0- Disponibilidad y uso de agua:

Anualmente México recibe del orden de 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta el 73.1% se evapotranspira, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, anualmente el país cuenta con 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable.

Se han identificado 1,471 cuencas hidrográficas en el país (Conagua, INEGI, INE), agrupadas en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) (Tabla 1). En 5 de las 13 RHA, el volumen del agua renovable per cápita es menor a 2000 m³/hab/año (Tabla 1).

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos. De éstos, 100 se consideraron sobreexplotados al 31 de diciembre del 2009.

RHA	Agua renovable (hm ³ /año)	Población a diciembre de 2009 (Mill. Hab)	Agua renovable per cápita 2009 (m ³ /hab/año)	Escorrentamiento natural medio superficial total ^a (hm ³ /año)	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)
I Península de Baja California	4 667	3.78	1 234	3 367	1 300
II Noroeste	8 499	2.62	3 250	5 074	3 426
III Pacífico Norte	25 630	3.96	6 473	22 364	3 267
IV Balsas	21 680	10.62	2 040	17 057	4 623
V Pacífico Sur	32 824	4.13	7 952	30 800	2 024
VI Río Bravo	12 163	10.98	1 107	6 857	5 306
VII Cuencas Centrales del Norte	7 898	4.19	1 887	5 506	2 392
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	34 533	20.97	1 646	26 431	8 102
IX Golfo Norte	25 564	4.97	5 145	24 227	1 338
X Golfo Centro	95 866	9.65	9 937	91 606	4 260
XI Frontera Sur	157 754	6.62	23 835	139 739	18 015
XII Península de Yucatán	29 645	4.06	7 294	4 330	25 316
XIII Aguas del Valle de México	3 513	21.42	164	1 174 ^b	2 339
Total nacional	460 237	107.97	4 263	378 530	81 707

Nota: Las cantidades expresadas en esta tabla son de carácter indicativo y para fines de planeación; no pueden ser utilizadas por sí solas para realizar concesiones de agua o determinar la factibilidad de un proyecto. Los cálculos de agua renovable se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos.
^a Se conforma por el escurrimiento natural medio superficial interno más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.
^b Se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.
 Nota: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de cifras.
 Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de:
 Conagua. Subdirección General Técnica. CONAPO. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México, 2008.

Tabla 1.- Agua renovable per cápita por RHA. (Conagua. Subdirección general Técnica, 2010).

En el periodo 2001-2009, el 63% del agua utilizada en el país para uso consuntivo provino de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que el 37% restante de fuentes subterráneas (acuíferos) (Tabla 2). El uso consuntivo concesionado o asignado al 2009 fue de 80.6 km³ y el uso no consuntivo concesionado al 2009 de 164.6 km³. El mayor volumen concesionado corresponde al uso agrícola (76.7%), mientras que al abastecimiento público se asigna el 14%. El uso de agua agrícola es principalmente empleada para riego. México es uno de los países con mayor infraestructura de riego en el mundo con 6.46 millones de hectáreas.

Uso	Origen		Volumen total (km ³)	Porcentaje extracción
	Superficial (km ³)	Subterráneo (km ³)		
Agrícola ^a	40.9	20.9	61.8	76.7
Abastecimiento público ^b	4.3	7.1	11.4	14.1
Industria autoabastecida ^c	1.6	1.7	3.3	4.1
Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3.6	0.4	4.1	5.1
Total	50.5	30.1	80.6	100.0

Nota: 1 km³ = 1 000 hm³ = mil millones de m³.
 Los datos corresponden a volúmenes concesionados al 31 de diciembre de 2009. Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de cifras.
^a Incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA. Incluye asimismo 1.30 km³ de agua correspondientes a Distritos de Riego pendientes de inscripción.
^b Incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.
^c Incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA.
 Fuente: Conagua. Subdirección General de Administración del Agua. 2010.

Tabla 2.- Usos consuntivos agrupados según origen del tipo de fuente de extracción, 2009.

1- Producción de aguas servidas y su tratamiento:

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida.

Al 2009, se trató el 37.1% de las aguas residuales municipales que se generaron. Y el 19.3% de las aguas residuales no municipales, incluyendo a la industria (Tabla 3).

En el año 2009, las 2,029 plantas en operación en el país trataron 88.1 m³/s, es decir el 42% de los 209.1 m³/s recolectados en los sistemas de alcantarillado. La industria trató 36.7 m³/s de aguas residuales, en 2,186 plantas en operación a nivel nacional. En el periodo de 1996 a 2009 la capacidad de tratamiento de descargas municipales aumentó en un 62%, y de descargas industriales en un 40%.

Centros urbanos (descargas municipales):		
Aguas residuales	7.49	km ³ /año (237.5 m ³ /s)
Se recolectan en alcantarillado	6.59	km ³ /año (209.1 m ³ /s)
Se tratan	2.78	km ³ /año (88.1 m ³ /s)
Se generan	2.02	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se recolectan en alcantarillado	1.78	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	0.61	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Usos no municipales, incluyendo a la industria:		
Aguas residuales	6.01	km ³ /año (190.4 m ³ /s)
Se tratan	1.16	km ³ /año (36.7 m ³ /s)
Se generan	6.95	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.33	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Nota: DBO ₅ , Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días. 1 km ³ = 1 000 hm ³ = mil millones de m ³ . Fuente: Conagua. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. 2010 Conagua. Subdirección General Técnica. 2010.		

Tabla 3.- Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2009.

El principal proceso de tratamiento de aguas residuales municipales al 2009 fue el de lodos activados (46%), seguido por lagunas de estabilización (15.6%), primario avanzado (11.4%), lagunas aireadas (8.1%), filtros biológicos (5.4%), dual (4.7%), y otros (8.6%). Del agua residual industrial, el 54.6% se trató con procesos secundarios (18.4 m³/s), el 33.4 % con procesos primarios (14.6 m³/s) y el 4 % con procesos terciarios (1.3 m³/s). Para el 8% del agua residual industrial no se especifica el tipo de tratamiento.

RHA	Número de plantas en operación	Capacidad instalada (m ³ /s)	Caudal tratado (m ³ /s)
I Península de Baja California	54	8.68	6.68
II Noroeste	100	4.80	2.92
III Pacífico Norte	282	9.01	7.04
IV Balsas	162	8.22	6.10
V Pacífico Sur	86	4.56	3.39
VI Río Bravo	205	28.84	21.68
VII Cuencas Centrales del Norte	124	5.79	4.50
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	513	23.97	18.58
IX Golfo Norte	104	3.39	2.54
X Golfo Centro	140	6.72	4.06
XI Frontera Sur	102	3.35	2.37
XII Península de Yucatán	72	2.65	1.90
XIII Aguas del Valle de México	85	10.89	6.35
Total	2 029	120.86	88.13

Nota: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de cifras.
Fuente: Conagua. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. 2010.

Tabla 4: Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, capacidad instalada y caudal tratado por RHA, 2009.

Actualmente está en construcción una planta de tratamiento para 23 m³/s de agua residual más hasta 12 m³/s de escurrimiento pluvial que tratará aguas de la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y entrará en operación en mayo de 2014. Hay otra planta más en proceso para otros 10 m³/s dentro del Valle de México (El Caracol), así como en diversas otras localidades del país, de tal forma que para 2015 se pretende tratar el 60% de las aguas residuales colectadas en los sistemas de alcantarillado (Conagua, 2012). Las limitaciones en el país en materia de tratamiento de agua tienen su origen en una cultura del agua remontada a los tiempos de la Colonia. El proceso de inclusión de PTARs (Plantas de tratamiento de aguas residuales) ya ha despegado como puede verse en la tabla 4, particularmente con la creación de la Conagua (Comisión Nacional del Agua) en 1989. Desde entonces se ha logrado una cobertura nacional de casi 92% en la distribución de agua potable, 90% del sistema de alcantarillado y casi 47% del saneamiento (Conagua, 2012).

2- Uso/vertido de aguas servidas:

Según estadísticas de Conagua (2011) se estima que en el año 2008 en México se reutilizaron 5,051 millones de metros cúbicos de agua (equivalente a un caudal de 160 m³/s). En el reúso de agua de origen municipal destaca la transferencia de aguas residuales colectadas en las redes de alcantarillado hacia cultivos agrícolas 4,123 millones de m³). En una menor proporción se reutilizan dichas aguas en las industrias, así como en las termoeléctricas, como es el caso de la central termoeléctrica de Villa de Reyes en San Luis Potosí. En el reúso de agua de origen industrial (no municipal) destacan las aguas residuales de los ingenios azucareros en el cultivo de caña en el estado de Veracruz.¹, Figura 1.

¹ Conagua, 2012.

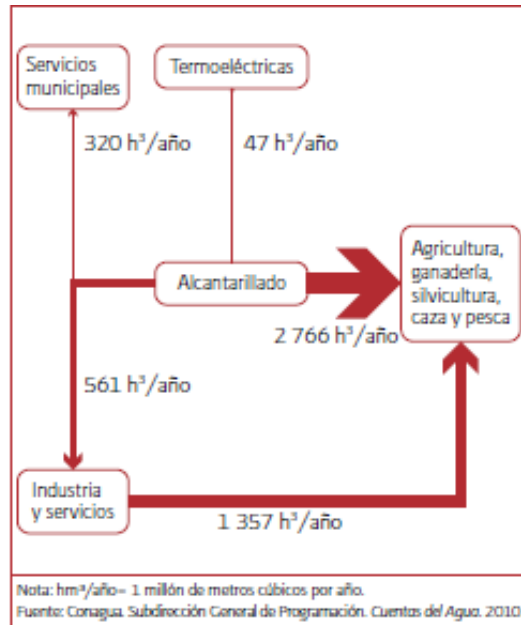


Figura 1.- Reúso del agua residual en México 2009. CNA 2011

No hay información actualizada respecto la calidad del agua que se reúsa en la agricultura a nivel nacional, es decir qué porcentaje de ésta recibe tratamiento previo y de qué tipo.

En los Distrito de Riego 088, 073, 03, 100 y 112 se usan 1290647 millones de m³ de agua residual de la zona metropolitana de la ciudad de México para regar 74,023 ha (datos del ciclo 2003-2004, CNA, 2006). El 36% del agua es superficial, 7% subterránea y 57% es agua residual. Del agua residual, aprox. el 20 % se usa en forma directa, el 60% mezclada con agua pluvial almacenada en presas en una proporción 4:1 agua residual/ agua pluvial, y el 20% restante se almacena de 3 a 4 meses en una presa (presa Endhó) antes de ser usado en el riego agrícola.

En estos distritos de riego se produce predominantemente alfalfa y maíz, los cuales se cultivan en rotación (3 años de alfalfa con 10 cortes por año en promedio, seguidos de 2 años de maíz cultivado en el ciclo primavera-verano, y con avena o cebada forrajera, rye grass, frijol u hortalizas como chile, calabaza, tomate en segundo cultivo en el ciclo otoño-invierno. El riego se realiza por gravedad, en surcos o melgas. La distribución del agua está a cargo de la Conagua, quien otorga los volúmenes solicitados a través de planes de riego elaborados por asociaciones de usuarios. Los agricultores están renuentes a que el agua sea tratada; temen que una vez que se trate el agua, sea destinada a otros usos y aumenten las cuotas por riego, además de que ya no contendrán la misma carga de nutrientes. La mayoría de los agricultores tienen muy baja percepción del riesgo a la salud por esta práctica.

Actualmente se encuentra en construcción una planta de tratamiento con capacidad de 23 m³/s de agua residual más 12 m³/s de escurrimiento pluvial, la cual se prevé entre en operación en mayo de 2014. La prospección es que se implementen sistemas de riego tecnificado en la zona. El transporte y distribución del agua tratada hacia las parcelas agrícolas se realizará a través de la amplia red de canales y presas existentes, pero se planea la introducción de sistemas de riego por goteo para optimizar el uso del agua.

Para ello se ha creado un fideicomiso (Fideicomiso de Infraestructura Ambiental de los Valles de Hidalgo), el cual opera a nivel comunitario para hacer propuestas de manejo integral de tratamiento de agua, riego agrícola tecnificado, procesos de beneficio, industrialización agrícola e incluso análisis de mercado.

Existe normatividad sobre la calidad mínima del agua para su uso en el riego agrícola, la cual se encuentra asentada en la NOM 003-SEMARNAT. Esta norma regula en forma general (sin especificar por tipo de cultivo, tipo de suelo, sistema de manejo agrícola) concentraciones máximas permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua. Igualmente se establece que está prohibido el riego de hortalizas que se consumen crudas con aguas residuales sin tratar. Aún falta reforzar los mecanismos de vigilancia para estas normas, así como crear regulaciones y directrices para el uso y manejo seguro de aguas de reúso para riego.

En México se generan aprox. 3,000 t diarias de lodos residuales (SEMARNAT, 2005). Estos residuos se consideran de manejo especial, el cual está establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003). Existe normatividad general sobre la calidad mínima que deben cumplir los lodos para ser utilizados como abonos en campos agrícolas (NOM-004-SEMARNAT), en la cual se establecen las concentraciones máximas permisibles de diversos compuestos y elementos; sin embargo no hay regulaciones y directrices relacionadas con las dosis de aplicación o el manejo de los mismos.

3- Políticas y organización institucional para la gestión de las aguas servidas:

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realizará mediante títulos de concesión o asignación otorgados por el Ejecutivo Federal a través de la Conagua por medio de los Organismos de Cuenca, o directamente por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que dispone la LAN y su reglamento.

Las cuotas por descarga de aguas residuales están relacionadas con el volumen de descarga y la carga de contaminantes, pueden consultarse en el artículo 278C de la Ley Federal de Derechos (LFD). El uso agropecuario, en tanto no exceda el volumen concesionado, no paga derecho por explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales.²

La organización institucional para PTARs de reuso agrícola es la siguiente:

Las Reglas de Operación aplicables son del Programa de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas rurales (PROSSAPyS), que a su vez genera recursos fiscales o de procedencia financiada (BID), para ser federalizados a los estados de la República para este tipo de proyectos piloto. Los proyectos son presentados en cada Comisión Estatal del Agua, misma que pondera prioridades de las comunidades participantes y sus compromisos operativos, incluibles en Convenios Marco establecidos con “facilitadores

² Conagua, 2011.

controladores” (Fideicomisos, Fundaciones, Fondos, etc.) definidos en las Reglas PROSSAPyS.

- a. La Gerencia de Distritos de Riego de CONAGUA revisa el proyecto y en su caso emite su opinión sobre la viabilidad hidroagrícola.
- b. En cada proyecto, el facilitador controlador integra un Comité de Planta y un Comité de Riego Tecnificado, iniciando las capacitaciones correspondientes.
- c. La supervisión del proceso constructivo y la puesta en operación corre a cargo de las Comisiones Estatales del Agua, sin mengua de inspecciones y supervisiones adicionales de los órganos fiscalizadores o financieros.

La Norma Oficial Mexicana (NOM-003) regula en términos generales de límites máximos permisibles parámetros físico-químicos y bacteriológicos la calidad mínima del agua destinada para el riego agrícola. Sin embargo, las iniciativas para implementar las directrices del uso seguro de las aguas servidas en agricultura están en una fase incipiente, razón por la cual es de primera importancia atender las recomendaciones de este Taller.

Institucionalmente, está haciendo falta asimilar, tanto en normatividad como en capacitación de operadores y usuarios, los avances generados por la OMS y la FAO.

El pasado 24 de Octubre la Secretaría de Educación Pública (SEP) designó a la Universidad Tula Tepeji como la entidad Certificadora de Competencias de las Personas y al Fideicomiso de Infraestructura Ambiental de los Valles de Hidalgo como responsable del Comité de Aguas Residuales Tratadas y su Reúso en la Agricultura Tecnificada.

4- Investigación/prácticas sobre diferentes aspectos de las aguas servidas:

4.1 Los Proyectos Piloto de PTARs para reúso agrícola tecnificado en México

A partir del despegue de las PTARs para reúso agrícola en el estado de Oaxaca, dentro del Programa PROSSAPyS de Conagua, como consecuencia de la Invitación en 1999 de CEPAL-PNUMA, fueron implementadas las primeras plantas orientadas simultáneamente a la solución del requerimiento sanitario y a la dotación de riego agrícola tecnificado, en un claro compromiso de reconversión de usos del agua, recomendado en todos los foros mundiales del agua llevados a cabo. El proceso involucra a los beneficiarios tanto del riego tecnificado como del tratamiento sanitario, que las más de las veces son las mismas personas.

Partiendo de las Guías y Recomendaciones para el Uso Seguro de las Aguas Residuales Tratadas de la OMS, el enfoque consecuente es de productividad agrícola, considerando las nuevas opciones agrícolas y comerciales. La operación, mantenimiento y rentabilidad de las PTARs entran en un enfoque muy diferente del estrictamente municipal. 19 PTARs han sido implementadas en este esquema, existiendo una docena de obras adicionales bajo distintos esquemas financieros.

4.2 Investigación científica

En los últimos 5 años destacan investigaciones realizadas en torno a la presencia y el comportamiento de contaminantes emergentes en las aguas residuales usadas para riego agrícola en el Valle del Mezquital (Siemens et al., 2008, Gibson et al., 2007 y 2010, Durán-Álvarez et al. 2009, Chávez et al, 2011, Siemens et al., 2010, Dalkmann et al., 2012, Durán-Álvarez et al., 2012). Se reporta la presencia de diversos fármacos como desinflamatorios (naproxeno, ibuprofeno), antiepilépticos (carbamezepina) y antibióticos (sulfametoxazol, ciprofloxacino, entre otros), así como retardantes de flama, y otros potenciales disruptores endocrinos.

También hay reportes sobre la dispersión de organismos patógenos por el reúso de agua residual (Mazari-Hiriart et al. 2008) y la diseminación de genes de resistencia a antibióticos (Dalkmann et al., 2012). Este último estudio muestra una acumulación de sulfateoxazol, ciprofloxacino y carbamazepina en los suelos con el tiempo bajo riego en los últimos 25 a 35 años, y también un incremento en la presencia de genes de resistencia a antibióticos en suelos regados con agua residual respecto a zonas de agricultura de temporal).

Hay investigaciones recientes sobre la presencia, movilidad y persistencia de pesticidas (Müller et al., 2011), y la retención y eliminación de organismos patógenos por el suelo y el riesgo de contaminación de aguas subterráneas (Chávez et al., 2011).

En el Distrito de Riego 03, Tula, se han muestreado en forma repetida en el tiempo (en 1990 y en 2010) parcelas que llevan diferente tiempo bajo riego (2-3, 8, 15, 25, 50, 85 y 100 años) con agua residual cruda (Grupo de Trabajo Suelo y Ambiente, Instituto de Geología, UNAM). Se tienen resultados sobre el comportamiento del contenido de materia orgánica del suelo, valores pH, conductividad eléctrica, el comportamiento de macro y micronutrientes en suelos y cultivos de alfalfa, y el comportamiento de metales pesados en suelos, alfalfa y grano de maíz (Chapela-Lara, 2011, Cayetanp Salazar, 2012). También se han realizado estudios sobre el balance de nitrógeno en parcelas regadas con agua residual cruda (Díaz-Sámano, 2009), así como monitoreos de emisiones de gases con efecto invernadero (CO₂, N₂O y CH₄) bajo alfalfa, rye grass y maíz en parcelas regadas con agua residual (González et al., en preparación).

En cuestiones sobre reorganización y tratamiento de aguas residuales se ha planteado un interesante debate (Cirelli, 2008; Pacheco-Vega, 2007; Pacheco-Vega & Basurto, 2008; Santacruz, 2008), que abarca desde el diseño de políticas públicas sectoriales hasta la coordinación de sus principales usuarios (Lugo, 2009).^L

5- Estado y requerimientos de conocimiento y prácticas sobre el uso seguro de aguas servidas:

Para cumplir con las acciones de administración y preservación del recurso hidrológico, la Conagua en el ámbito nacional cuenta (al 2009) con un total de 13,994 personas con

capacidad técnica y administrativa. De ellas el 16% se ubica en Oficinas Centrales, mientras que el restante 85% está adscrito a las Direcciones Locales y Organismos de Cuenca del territorio nacional.

Consideramos que nivel nacional y en las zonas de mayor productividad agrícola se requieren capacidades y competencias en lo siguiente en orden de prioridad:

- Normatividad de Aguas Tratadas y de Suelos.
- Inocuidad de los Alimentos. Reglas y Criterios. Ejercicios de Manejo.
- Técnicas y Prácticas de Muestreo e Interpretación de Resultados.
- Técnicas y Prácticas de Laboratorio.
- Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Suelos Agrícolas. Experiencia en clasificación y manejo.
- Riegos Agrícolas Tecnificados. Diseño en campo, instalación, operación y mantenimiento.
- Manejo de cosechas y post cosechas. Implementación de beneficios. (Por cultivo).
- Procesos de Industrialización Agrícola. Líneas de producción, Evaluaciones de rendimientos, control de calidad. Mercadeo.

Hace falta implementar regulaciones específicas basadas en las directrices establecidas por la OMS y la FAO respecto al uso seguro de las aguas residuales en la agricultura, así como capacitación de tanto operadores como usuarios en esta temática. Aquí es de beneficio instalar parcelas demostrativas y difundir las ventajas tanto productivas como a la salud y al ambiente de la implementación de sistemas de riego tecnificado con agua tratada. Dado que la percepción del riesgo es muy baja entre los usuarios, es importante incluir estrategias de comunicación de riesgo para motivar el seguimiento de la normativa. Es deseable profundizar las investigaciones sobre los riesgos a la salud y ecológicos, así como los efectos en la productividad agrícola del reúso de agua de calidad diversa (sin tratamiento, tratamiento primario o secundario) para conocer mejor el nivel mínimo de tratamiento que se debe dar al agua con el fin de conservar nutrientes, pero eliminar los contaminantes. Igualmente es importante implementar estrategias de vigilancia de la normatividad y de las regulaciones específicas. Esto puede lograrse mediante la vinculación entre organizaciones de usuarios, las diversas instancias operativas y de manejo del recurso y las instituciones de educación superior.

6- Conclusiones y/o información importante sobre el tema no tratada anteriormente:

- a. La urgencia de ampliar y planificar el reúso seguro de aguas residuales tratadas en la agricultura puede facilitarse mediante proyectos piloto, a escala 1:1, productivos, con la participación conjunta de las instancias gubernamentales, los productores agrícolas y las iniciativas de la sociedad civil.

- b. México ha podido corresponder a solicitudes de asesoría de Bolivia, Colombia y Costa Rica, canalizadas por la Comisión Nacional del Agua y/o la Comisión Estatal del Agua y Alcantarillado de Hidalgo.
- c. En un Programa 100/500 se han instalado en 2012 sistemas de riego por goteo en 67 escuelas elementales para formar una mentalidad nueva a los estudiantes.
- d. Existen componentes no esenciales al uso seguro del agua, pero de importancia significativa:
 - Los usuarios-agricultores aportan su obra de mano, materiales de la región y servicios constructivos como la contraparte local al proyecto.
 - Los agricultores entregan un porcentaje de su producción agrícola en pago del agua y el sistema de riego, superando ampliamente las inercias históricas en materia del pago del agua.
 - Los Fideicomisos Ambientales financian al 100% la aportación federal-estatal, con procesos expeditos y transparentes, obteniendo su reembolso hasta que la PTARs y el sistema de riego estén funcionando satisfactoriamente

Referencias bibliográficas:

Cayetano-Salazar, M. 2012. Transferencia suelo-planta de metales pesados en parcelas regadas con agua residual en el Valle del Mezquital. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. www.geologia.unam.mx

Chalpela-Lara, M. (2011). Variación temporal en el contenido de metales pesados regados con aguas residuales. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra. UNAM. www.geologia.unam.mx

Chávez A, Maya C, Gibson R, Jiménez B (2011) The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation of farmland in the Tula Valley, Mexico. *Environmental Pollution* 159: 1354-1362.

Cirelli, C. (2008). La gestión del servicio público de agua potable en Francia: ¿un modelo a debate o en crisis? En Peña, F. (Coord.), *Boletín del archivo histórico del agua* (pp. 64-72). México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua. (2008). *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.conagua.gob.mx

Comisión Nacional del Agua. (2011). *Estadísticas del agua en México*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.conagua.gob.mx

Comisión Nacional del Agua. (2011). *B Atlas del agua en México*: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.conagua.gob.mx

Comisión Nacional del Agua. (2012). *Compendio Estadístico de Administración del Agua (CEAA)*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.conagua.gob.mx

Comisión Nacional del Agua. (2012). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012. SEMARNAT. www.conagua.gob.mx

Dalkmann P, Broszat M, Siebe C, Willashek E, Sakinic T, Huebener J, Amelung W, Grohmann E, Siemens J, 2012: Accumulation of Pharmaceuticals, *Enterococcus*, and Resistance Genes in Soils Irrigated with Wastewater for Zero to 100 Years in Central Mexico. PLoS ONE 7(9): e45397. doi:10.1371/journal.pone.0045397

Díaz-Sámamo, C. 2011. Cuantificación de la lixiviación de nitratos en una parcela regada con agua residual del Valle del Mezquital. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Biología.

Durán-Álvarez JC, Becerril-Bravo E, Castro VS, Jiménez B, Gibson R (2009) The analysis of a group of acidic pharmaceuticals, carbamazepine, and potential endocrine disrupting compounds in wastewater irrigated soils by gas chromatography-mass spectrometry. *Talanta* 78: 1159-1166.

Gibson R, Becerril-Bravo E, Silva-Castro V, Jiménez B (2007) Determination of acidic pharmaceuticals and potential endocrine, disrupting compounds in wastewaters and spring waters by selective elution and analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1169: 31-39.

Gibson R, Durán-Álvarez JC, Estrada KL, Chávez A, Jiménez Cisneros B (2010) Accumulation and leaching potential of some pharmaceuticals and potential endocrine disruptors in soils irrigated with wastewater in the Tula Valley, Mexico. *Chemosphere* 81: 1437-1445.

González-Méndez, B., S. Fiedler, LG Ruíz, R. Webster and C. Siebe (submitted): Irrigation with waste water increases emissions of greenhouse gases from cropland: a case study in the Mezquital Valley of Mexico. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*.

Lugo M, (2009). El uso de aguas residuales en la agricultura en México, *Revista Ambiente y Desarrollo*, Bogotá (Colombia), Volumen XIII No. 24, enero-junio de 2009

Mazari-Hiriart M, Ponce-de-León S, López-Vidal Y, Islas-Macías P, Isabel Amieva-Fernández R, et al. (2008) Microbiological Implications of Periurban Agriculture and Water Reuse in Mexico City. *Plos One* 3

Müller, K., C. Duwig, B. Prado, C. Siebe, C. Hidalgo and J. Etchevers (2012): Impact of long-term wastewater irrigation on sorption and transport of atrazine in Mexican agricultural soils, *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Waste*, 47:1, 30-41.

Pacheco-Vega, R. (2007). Construyendo puentes entre la política ambiental y la política de tratamiento de aguas en la cuenca Lerma-Chapala. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(24), 995-1024.

Pacheco, R. (2007). Participación de la comisión nacional del agua en el tratamiento de aguas residuales en la cuenca Lerma-Chapala. *Estadísticas federales y realidades estatales. Región y Sociedad*, 19(39), 55-76.

Pacheco-Vega, R. & Basurto, F. (2008). Instituciones en el saneamiento de aguas residuales: reglas formales e informales en el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. *Revista Mexicana de*

Sociologia, 70(1), 87-109.

Presidencia de la República, (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. México: Poder Ejecutivo Federal.

Sánchez, A. & Propin, E. (2001). Cambios en la orientación funcional de las ciudades medias del trópico mexicano. *Cuadernos Geográficos*, 31, 69-85.

Santacruz, G. (2008). Generación y tratamiento de agua residual en la zona metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí. En F. Peña (Coord.), *Boletín del archivo histórico del agua (N° 40, pp. 33-37)*. México: CONAGUA.

Siemens, J., G. Huschek, C. Siebe and M. Kaupenjohann (2008): Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico-City-Mezquital Valley. *Water Research*, 42:2124-2134.

Siemens, J., G. Huschek, G. Walshe, C. Siebe, R. Kasteel, S. Wulf, J. Clemens, and M. Kaupenjohann (2010): Transport of pharmaceuticals in columns of a wastewater-irrigated Mexican clay soil. *Journal of Environmental Quality*, 39:1-10.