

DOI: 10.24850/j-tyca-2024-04-09

Artículos

**Las unidades de riego en México: caracterización de  
fuente de abastecimiento y tamaño**

**The small-scale irrigation in México: Characterization of  
supply source and size**

Waldo Ojeda-Bustamante<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7183-9637>

Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9776-475X>

Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4921-7492>

Felipe José Antonio Pedraza-Oropeza<sup>4</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0429-7908>

Mauro Iñiguez-Covarrubias<sup>5</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6319-6296>

<sup>1</sup>Dirección General de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, [w.ojeda@riego.mx](mailto:w.ojeda@riego.mx)

<sup>2</sup>INIFAP-CENID RASPA Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, Durango, México, [jimenez.sergio@inifap.gob.mx](mailto:jimenez.sergio@inifap.gob.mx)

<sup>3</sup>INIFAP-CENID RASPA Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, Durango, México, marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

<sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco de Mora, México, fpedraza@colpos.mx

<sup>5</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México, mic@tlaloc.imta.mx

Autor para correspondencia: Waldo Ojeda-Bustamante, w.ojeda@riego.mx

## Resumen

La pequeña irrigación (PI) en México ha sido fundamental para su desarrollo agrícola. La PI surge principalmente de organizaciones de riego tradicional con autogobierno; sin embargo, la intervención del Estado reconfiguró su base autogestiva para reagruparlas “institucionalmente” como unidades de riego (UR). El objetivo de este trabajo fue caracterizar la tipología de las UR en términos de la fuente de abastecimiento de agua y su tamaño. A diferencia de los distrito de riego (DR), las UR son autogestivas y abastecidas principalmente de aguas subterráneas, y han estado marginadas de la intervención del Estado, por lo que la información sobre el inventario de las UR es limitada. Existe una gran diferenciación de las UR según su fuente de abastecimiento, tamaño y localización. Las UR se encuentran muy dispersas y predominan las UR monousuario abastecidas por aguas subterráneas operadas por usuarios

independientes con limitada solidaridad hídrica, lo cual dificulta su estudio, seguimiento y apoyo.

**Palabras clave:** agricultura de riego, pequeña irrigación, organizaciones autogestivas, asociaciones de usuarios de riego, agua subterránea.

## Abstract

Small irrigation (SI) has been fundamental in the Mexico's agricultural development. They were born as traditional self-governing irrigation organizations, but state intervention reconfigured their self-managed base to re-group them as Irrigation Units (IU). The objective of the work is to characterize the typology of UR and analyze their problems in terms of over-exploitation of the water supply. Unlike the Irrigation Districts (ID), the SI are self-managed and groundwater supplied and have been marginalized from the state, so the documentary information, agricultural statistics and inventory of the IU are limited. There is a great differentiation among IU according to their water supply and localization. The IU are very dispersed and with a single-user supplied by groundwater with low water solidarity, which it makes difficult to study, monitor and support them.

**Keywords:** Irrigated farming, small-scale irrigation, local organizations, irrigation user associations, groundwater.

Recibido: 19/10/2022

Aceptado: 03/02/2023

Publicado Online: 05/04/2023

## Introducción

La agricultura como sistema parcialmente antrópico responde no sólo a respuestas biofísicas, sino también puede ser manipulable, con la aplicación artificial de insumos, como el uso del riego para reducir la dependencia de la agricultura a patrones inciertos de la lluvia y asegurar la producción de cultivos, particularmente en zonas áridas y semiáridas (Vanschoenwinkel & Van Passel, 2018).

El desarrollo de grandes civilizaciones urbanas antiguas en Mesopotamia, Egipto, China, India, Perú y Mesoamérica fue soportado por una agricultura sobre todo bajo riego que tenía una organización sociopolítica compleja, que dependía de un buen manejo, distribución y control del agua de riego (Palerm, 1987). Asimismo, muchos de los proyectos de pequeña irrigación fueron construidos por los propios agricultores sin ayuda ingenieril externa (Byrns, 1957).

En la actualidad, según Martínez-Sanmartín (2020), la persistencia de la pequeña irrigación (PI) de práctica ancestral ha pasado por diferentes presiones: globalización, hiperindustrialización y ahora el cambio climático, mostrando la PI una alta resiliencia con grandes lecciones sustentables en temas estratégicos para el desarrollo regional, como la calidad de su producción, la seguridad alimentaria, y la conservación del agua y suelo. Por otra parte, la construcción y el uso de la infraestructura de riego solo pueden trascender periodos de inestabilidad política con una organización social sólida. Por tanto, la práctica del riego ha sobrevivido cuando se considera el agua de riego

como un bien común desde el diseño hasta la operación del sistema, enmarcado en los principios de cooperación, solidaridad, compartición, equidad, transparencia, justicia, mediación, negociación, proporcionalidad en derechos de agua y corresponsabilidad en el mantenimiento sistemático de las obras hidráulicas comunes.

Bottrall (1981) documentó que a medida que el número de parcelas y de la superficie regable se incrementa, la operación y el manejo de la zona de riego se vuelve más compleja para que pueda ser controlada en exclusiva por los agricultores que se benefician del riego, por lo que se requiere de una mejor organización de la zona de riego y con frecuencia se recurre al apoyo de personal externo con habilidades técnicas y administrativas —pagado por las cuotas de los usuarios de riego— para que puedan recibir el servicio de riego con calidad; pero es deseable que el usuario mantenga el control total del vital líquido aguas abajo de las tomas granja, que es el punto donde reciben el servicio de riego.

El desarrollo del riego en México propició la proliferación de pozos profundos —muchas veces fomentado por el Estado— para asegurar el abastecimiento de zonas agrícolas en donde los volúmenes de fuentes superficiales eran inciertos y con una frontera agrícola muy acotada. Ante la falta de regulación en las extracciones de los acuíferos, las unidades de riego (UR) abastecidas por aguas subterráneas crecieron en volumen extraído y en número a una tasa mucho mayor que las abastecidas por aguas superficiales. Como ha sido reportado por Bottrall (1981), el desarrollo de muchas de las zonas de riego abastecidas por pozos profundos incrementó las extracciones por arriba de su recarga,

alcanzado niveles críticos que han puesto en riesgo la sustentabilidad de los acuíferos que las abastecen.

En México, las legislaciones y regulaciones aplicadas para controlar las extracciones de acuíferos no han dado los resultados esperados. En el año 2018 se reportaban 107 acuíferos sobreexplotados y 208 acuíferos sin disponibilidad (Conagua, 2018a), que se incrementaron a 159 acuíferos sobreexplotados y 274 acuíferos sin disponibilidad en el año 2021 (Conagua, 2021a), de un total de 653 acuíferos que existen en el país. Las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento de las UR, por lo que se requiere tener mayor información de sus dimensiones, localización y problemática.

Debido a una mayor intervención histórica del Estado mexicano orientada a la grande irrigación (GI), que en el país se concentra en los distritos de riego (DR), la mayor parte de los estudios se han enfocado en el estudio del diagnóstico, desarrollo y gestión de los DR, quedando rezagada a un segundo plano la compilación y el análisis de información de las UR. Por otra parte, con la intensificación del cambio climático con una mayor competencia por el recurso hídrico y una mayor demanda de alimentos se requiere evaluar el estado actual y atender la situación existente de la pequeña irrigación en México para implementar políticas públicas que permitan consolidar sus procesos de autogestión.

Antes de la creación de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el inventario de las UR estaba soportada con información de campo compilada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), antecesora de la Conagua, que fue integrada en el sistema computacional SIUR (Sistema de Información de Unidades de Riego) (Colpos, 1998;

Colpos, 2006). Dicho inventario integrado en el SIUR (Figura 1) reportaba una superficie regable de 2 956 032 hectáreas y 39 492 UR (Colpos, 2006).



**Figura 1.** Pantalla principal del sistema informático SIUR, versión 2.0, que integraba el inventario de las UR. Fuente: Colpos (2006).

Con la publicación de ocho acuerdos de suspensión temporal de las aguas subterráneas en todo el territorio nacional —que involucró a 333 acuíferos del país (Conagua, 2013)— ha habido un incremento en la frontera agrícola en zonas abastecidas por agua subterránea derivado del reconocimiento y adecuación de extracciones de pozos establecidos de libre alumbramiento de las aguas subterráneas y que anteriormente no requerían de un permiso o concesión de agua; por otra parte, la falta de control de las extracciones de pozos abastecidos por agua subterránea



(Foster, Garduño, & Kemper, 2004; Wester, Hoogesteger, & Vincent, 2009) se refleja en el último inventario oficial de la Conagua del año 2018, en el que se incrementó la superficie regable en cerca de un millón de hectáreas con respecto al de 2006. Sin embargo, dicho inventario no se ha analizado con el rigor requerido, por lo que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las UR considerando dos variables de análisis: fuente de abastecimiento y tamaño; esta última expresada por la superficie regable y el número de usuarios de las UR. De modo complementario se analiza la participación de la UR en los acuíferos sobreexplotados y las cuencas deficitarias.

## La pequeña irrigación: definición y conceptos

A nivel mundial, las zonas de riego se clasifican en dos grandes grupos: pequeña y grande irrigación. Brown, Morton y Grimble (1995) consideran el siguiente concepto de pequeña irrigación:

“(...) usualmente se refiere al espacio ‘pequeño’ en donde las actividades de riego se desarrollan por uno o ‘pocos’ usuarios de riego. Aunque también aplica para zonas con alto grado de participación social de los usuarios en su planeación y desarrollo, el cual depende de recursos y tecnología localmente disponible con impactos mínimos fuera del área inmediata del proyecto”.

Asimismo, Palerm-Viqueira (2005) reporta que existe un límite en la capacidad de los regantes con una administración autogestiva (no burocrática) de las zonas de riego, que depende de la complejidad del



sistema de riego, y que cuando son rebasados necesariamente conducen a una administración burocrática y tecnocrática, por lo general promovida por el Estado. Por ser un indicador disponible y sin ambigüedad de interpretación en la mayoría de los casos, se ha usado la superficie regable de una zona de riego como el indicador empírico de definición de los límites de la capacidad de los regantes bajo una administración autogestiva (Hunt, 1988) y ha sido empleada también para separar la pequeña de la grande irrigación. Sin embargo, este criterio ha sido cuestionado por Mango, Makate, Tamene, Mponela y Ndengu (2018), y Bottrall (1981); este último indicó que el valor límite para clasificar las zonas de riego por su tamaño depende de la complejidad del sistema de riego en función de varios factores relacionados con la capacidad de organización de los usuarios de riego o regantes en niveles más complejos, que dependen de lo siguiente: escolaridad y experiencia en riego, padrón de cultivos, tipo y variabilidad en la fuente de abastecimiento; tamaño de las parcelas; la infraestructura disponible; grado de homogeneidad de los intereses de los agricultores; grado de dispersión de parcelas; distancia de la residencia de los usuarios con respecto a la localización de su parcela, y grado de intervención del Estado en la gestión del agua.

Un factor común de ambos esquemas (grande y pequeña irrigación) es el nivel de responsabilidad de los agricultores en la toma de decisiones para definir los planes de cultivos y riegos, y el seguimiento de la gestión del servicio de riego, ya sea en forma individual en las zonas de pequeña irrigación o bien a través de sus representantes en las zonas de grande irrigación.

En la India se considera como pequeña irrigación a las zonas de riego menores de 2 000 hectáreas y grande irrigación para mayores de 10 000 hectáreas, mientras que a las áreas en el rango intermedio se les llama media irrigación (MWR, 2019). En el país Sri Lanka, los umbrales para separar la pequeña, media y grande irrigación son 80 y 600 hectáreas (Murray & Little, 2000), respectivamente. En Etiopía son 200 y 3 000 hectáreas. Asimismo, ha habido intentos de clasificar la pequeña irrigación como zonas de riego menores de 300 hectáreas y con hasta 50 parcelas, en donde los agricultores usan tecnologías para el manejo del agua que ellos mismo pueden operar y mantener (Hagos, Makombe, Namara, & Awulachew, 2009).

Por otra parte, Uphoff (1986) dividió el tamaño de parcela de la pequeña irrigación en tres grandes grupos: a) menores de 40 hectáreas; b) de 40 a 400 hectáreas, c) de 400 a 4 000 hectáreas. Indicó que el primer grupo es administrado por los propios usuarios; el segundo, por una autoridad central, ya sea electa por los usuarios o seleccionada por el Estado; el último grupo tiene niveles de administración más formal. Hunt (1988) indicó que zonas de riego mayores de 100 hectáreas tienen alta probabilidad de ser operadas por una autoridad administrativa unificada. Brown *et al.* (1995) consideran que usualmente el tamaño máximo de una parcela de pequeña irrigación es de 10 hectáreas por usuario o familia. Por su parte, la FAO (1987) propuso una clasificación de las zonas de riego en África en cuatro grandes grupos: pequeña irrigación para áreas de 1 a 10 hectáreas; media irrigación para 100 a 1 000 hectáreas; grande irrigación para 1 000 a 10 000 hectáreas, y muy grande irrigación para áreas mayores de 10 000 hectáreas.

En consecuencia, la gestión de la pequeña irrigación se basa en la cooperación de los agricultores para la toma de decisiones sobre su área de influencia (red de distribución, localización y tamaño de tomas granja), por lo que un buen sistema de riego no solo es aquel que de origen fue bien planeado y construido, sino que se mantiene conservado, manejado y, sobre todo, organizado por los propios beneficiarios del riego.

Con base en información documental, Puy, Muneepeerakul y Balbo (2017) indicaron que la pequeña irrigación tiene mayor capacidad para sobrevivir en un mundo incierto debido a que: 1) inhibe la tragedia de los comunes, que se refiere a que los recursos naturales de uso colectivo inevitablemente deriva en una sobreexplotación y, a largo plazo, a su destrucción o agotamiento; 2) minimiza conflictos bajo condiciones de escasez entre usuarios localizados aguas arriba y aguas abajo de la red de distribución; 3) hay mayor eficacia de instituciones de control interno; 4) existe más tolerancia a fluctuaciones en precios de mercado, y a la presencia de plagas y enfermedades por ser menos propensa a especialización de cultivos; 5) alcanza altos niveles de eficiencia debido a un mayor grado de colaboración que existe en grupos pequeños para sobrevivir por largos periodos en condiciones de incertidumbre.

Asimismo, Puy *et al.* (2017) señalaron que la grande irrigación tiene las siguientes ventajas: 1) mayor potencial para ganancias económicas y generar empleo rural; 2) incremento rápido del nivel de vida de la población que soporta; 3) las organizaciones de riego centralizadas pueden recibir grandes inversiones, 4) facilidad para implantar tecnologías modernas de ahorro de agua y semillas mejoradas.

## El desarrollo de la pequeña irrigación en México

Los cambios legales frecuentes en materia de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y sus leyes reglamentarias refirieron en el siglo XX la intervención del Estado en la construcción y gestión de las zonas de riego como parte central de la Conagua, reclasificando institucionalmente las zonas de riego en dos grandes grupos: distritos de riego y unidades de riego. Aunque muchos sistemas de riego vernáculos continúan funcionando en forma independiente del Estado, el objetivo de la LAN de 1992 era que se organizaran en asociaciones de usuarios de riego y se les otorgaría una concesión global de agua una vez constituidas como personas morales (Ortiz, 1993).

De esta manera se eliminó de forma institucional el término de pequeña irrigación, y cambiaron su definición y alcances. Silva-Ochoa (2000) define en forma simplificada a las UR como el espacio físico que abarcan las obras de pequeña irrigación en México, y son esencialmente sistemas de riego independientes manejados formal o informalmente por los usuarios desde su origen. En contraparte, los DR se concibieron como grandes sistemas de riego que se desarrollaron con inversiones como parte de la política pública del gobierno federal para promover el desarrollo agrícola del país.

Desde su creación y hasta la década de 1990, el gobierno federal estuvo a cargo de la administración, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidroagrícola de los DR. La intervención gubernamental federal ha considerado a las UR como la figura asociativa proveniente de las pequeñas obras de riego que no están bajo la jurisdicción de los DR,

como se indica en la definición de UR en el artículo 3º de la LAN de 1992 (Conagua, 2012).

En general, las UR se diferencian sobre todo de los DR por los niveles organizativos, y el nivel de intervención del Estado en el manejo y distribución del agua. En el desarrollo hidroagrícola del país, muchas UR se convirtieron en DR y viceversa, lo que indica la falta de claridad de su definición y separación, por lo que es necesario conocer la situación actual de las UR. La diferenciación entre UR y DR se debe en particular al papel burocrático del Estado para gestionar las zonas de riego bajo su estructura centralizada y que no depende de su tamaño (Palerm-Viqueira, 2020).

La Conagua y sus organismos antecesores han invertido grandes recursos para inventariar y organizar las UR bajo su tutela centralizada, agrupándolas en dos grandes grupos: organizadas o incorporadas, y las no organizadas. A juicio de los autores, desgraciadamente a la fecha no se tiene un inventario confiable de UR, un directorio nacional de las UR y mucho menos un padrón de usuarios integrado de las unidades de riego.

En este sentido, la intervención del Estado mexicano, primero en la construcción de la infraestructura y después en la organización y financiamiento de la pequeña irrigación existente, destruyó o desconoció en muchos casos la organización autogestiva existente en la pequeña irrigación (Sánchez, 2002).

Por otra parte, el manejo colectivo del agua a través de organizaciones de usuarios de agua, complementado con regulaciones gubernamentales, se ha reportado como parte integral de manejo sustentable de aguas subterráneas (Lopez-Gunn & Cortina, 2006). Bajo

este enfoque, y por recomendación del Banco Mundial (BM) (Foster *et al.*, 2004), se crearon en México los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (Cotas).

A pesar de que la Conagua mantuvo desde su creación la administración de siete DR abastecidos por aguas subterráneas, hasta que fueron transferidos a las asociaciones civiles de usuarios (ACU), varios acuíferos que los abastecen se encuentran ahora en condiciones de sobreexplotación. Más aún, las extracciones de agua subterránea continúan incrementándose a niveles no sustentables ante la debilidad de las organizaciones civiles creadas con fines de autorregulación y a las lagunas en la normativa vigente para controlar las extracciones (Wester *et al.*, 2009). A diferencia de los DR, en donde la fuente principal de abastecimiento es el agua superficial, en las UR la fuente principal es el agua subterránea. A pesar de su importancia, existen vacíos de información de las UR del país que limitan su análisis y toma de decisiones robustas.

Los acuíferos contribuyeron al desarrollo de muchas zonas de riego, que ante la limitada estructura para regular las extracciones y las ventajas de perforar directamente en la parcela para acceder al acuífero subyacente facilitó una gestión centralizada, con un desarrollo atomizado de los pozos operados por usuarios independientes (Shah *et al.*, 2007).

En contraparte a la pequeña irrigación de fuentes subterráneas, los sistemas de autogestión de fuente superficiales han sido exitosos, pues no solo son canales y tomas, sino también tienen una dimensión humana, al incluir un sistema transparente del servicio de riego con base en un consenso general para asignar, distribuir y entregar el agua, así como una

red de distribución y estructuras que facilita a los usuarios a entender el sentido del flujo y la partición del agua de acuerdo con su propia percepción (Horst, 1998).

La gestión del agua de fuentes subterráneas es complicada al tratarse de un recurso oculto, espacialmente heterogéneo, que depende de variables con alta variabilidad espacial y muchas veces temporal, como lluvia, recarga por riego, y/o flujo de ríos, al igual que por las propiedades del acuífero (geometría, continuidad, fronteras y características hidráulicas) y sus recargas, por lo que predecir el comportamiento hidrogeológico es impredecible, y complica su manejo a los usuarios y a las instituciones responsables de su gestión (Carter & Howsam, 1994).

## Materiales y métodos

Se consultó la información de diferentes fuentes documentales y geoespaciales (listadas a continuación), que se agruparon en dos grandes categorías de acuerdo con las variables de estudio. En la primera se analizó la situación actual de las UR desde el punto de vista de superficie y número de usuarios según su fuente de abastecimiento. En el segundo punto se examinó la situación de las UR de acuerdo con los acuíferos y cuencas que las abastecen. Estas categorías se detallan en los siguientes puntos.



## Inventario actual de UR

Se descargó el inventario oficial de las UR del Sistema Nacional del Agua (SINA) de Conagua (2018b) para tener acceso a la base de datos geoespacial de las UR del país. Dicha base geoespacial contiene información de las parcelas que constituyen las UR. Se depuró dicho inventario para eliminar información redundante. Al ser considerados errores de procesamiento de la base geoespacial, los polígonos de UR que tenían áreas aisladas menores de 0.1 hectáreas fueron eliminadas de la base (se detectaron 7 UR que sumaban en total una superficie acumulada de 0.52 ha). Para cada UR se disponía de la siguiente información: clave de la UR, nombre, número de usuarios, superficie regable, tipo de aprovechamiento (superficial, subterráneo y mixto), y localización geográfica.

La base de datos contenía información de la fuente de abastecimiento de las UR para clasificarla como superficial o subterránea, a excepción de 1 689 UR con una superficie de 294.5 miles de hectáreas que fueron registradas durante el levantamiento del inventario como fuente de abastecimiento mixta; las UR mixtas se reclasificaron en función de su principal fuente (superficial o subterránea) haciendo una búsqueda detallada de estas UR en la base de datos del Registro Público de Derechos de Agua (Repda). Dicha base también contiene información de las dimensiones de la UR en términos de número y tamaño de parcelas, y número de usuarios. Con el fin de procesar la información descargada, se generó una base de datos geoespacial, utilizando el programa QGIS, lo que permitió la validación, corrección e intersección de los datos; de esta

manera, en el caso de UR clasificadas como mixtas, se consultó la base de datos del Repda (Conagua, 2022), a fin de asignarles el tipo de fuente de abastecimiento dominante.

Se hizo una representación estadística descriptiva de los valores de las UR agrupadas por su fuente principal de abastecimiento: superficial, subterráneo; se usaron tablas y gráficas para representar su media y dispersión de su tamaño, así como mapas para representar su localización geográfica.

Una de las limitaciones del inventario más reciente de las UR (Conagua, 2018b) es que presenta información incompleta sobre los diferentes tipos de fuentes superficiales, como bombeo o derivación de corrientes superficiales, manantiales, jagüeyes, bordos, y presas/bordos de almacenamiento propias, o que comparten con otras unidades o distritos de riego.

En las últimas estadísticas publicadas por la Conagua para las UR, que corresponden al año agrícola 2017-2018 (Conagua, 2019), se reportaron 3 453 miles de hectáreas sembradas, lo cual indicaría que casi el 100% de la superficie física regable de las UR se regó ese año, con 17% de segundos cultivos, que correspondería a 2 866 miles de hectáreas de la superficie regable, muy cercana a la superficie regable reportada en el inventario de la UR de 2006 (Colpos, 2006). Lo anterior indicaba que el inventario de UR de 2006 estaba subestimado, por lo fue necesario que la Conagua lo actualizara (2018) (Conagua, 2018b). Como referencia, en DR para el año agrícola 2017-2018 (Conagua, 2020), se reportaron 2 873.6 miles de hectáreas sembradas, con 8.9% de segundos cultivos. Lo anterior implica que la superficie regada en dicho año fue de 2 615 miles

de hectáreas, que corresponde al 79.5% de la superficie física total regable en los DR, esto es, 3 291 miles de hectáreas (Conagua, 2018a).

## UR en los acuíferos y cuencas del país

Se consultó información de Conagua para tener acceso a la base de datos geoespacial de los 653 acuíferos y 757 cuencas del país (Conagua, 2021a; Conagua, 2021b). Con el apoyo del Sistema de Información Geográfica QGIS, dicha información geoespacial se conjuntó con el inventario de UR indicado en el punto anterior. La información de la Conagua de los acuíferos del país incluía características de los volúmenes de recarga (R), extracción (E) y disponibilidad (R-E). La Conagua define un acuífero sobreexplotado cuando el indicador  $i$  de la relación de volúmenes de extracción/recarga ( $i = E/R \geq 1.1$ ), la cual indica que la extracción de agua excede a la recarga en un 10%. Cabe mencionar que hasta 1995, el umbral era de 20%. Bajo el umbral del 10% existirían 157 acuíferos en condición de sobreexplotados de los 653 existentes en el país, usando datos disponibilidad de los acuíferos de 2020 (Conagua, 2021a). Por otra parte, Conagua define un acuífero o cuenca deficitaria cuando la extracción es mayor que la recarga ( $i = E/R > 1$ ), existiendo 274 acuíferos en condiciones deficitarias de disponibilidad.

Para dimensionar la presencia de las UR en acuíferos sobreexplotados se agruparon en función del indicador del grado de explotación de los acuíferos ( $i = E/R$ ) en los siguientes tres grupos (Conagua, 2021a):

- Acuífero sobreexplotado ( $i \geq 1.1$ ).

- Acuífero en equilibrio ( $0.9 < i < 1.1$ ).
- Acuífero subexplotado ( $i \leq 0.9$ ).

Otra clasificación que usa la Conagua (2021b) para definir un acuífero o cuenca deficitaria es:

- Acuífero o cuenca con déficit (volumen disponible  $\leq 0$ ).
- Acuífero o cuenca sin déficit (volumen disponible  $> 0$ ).

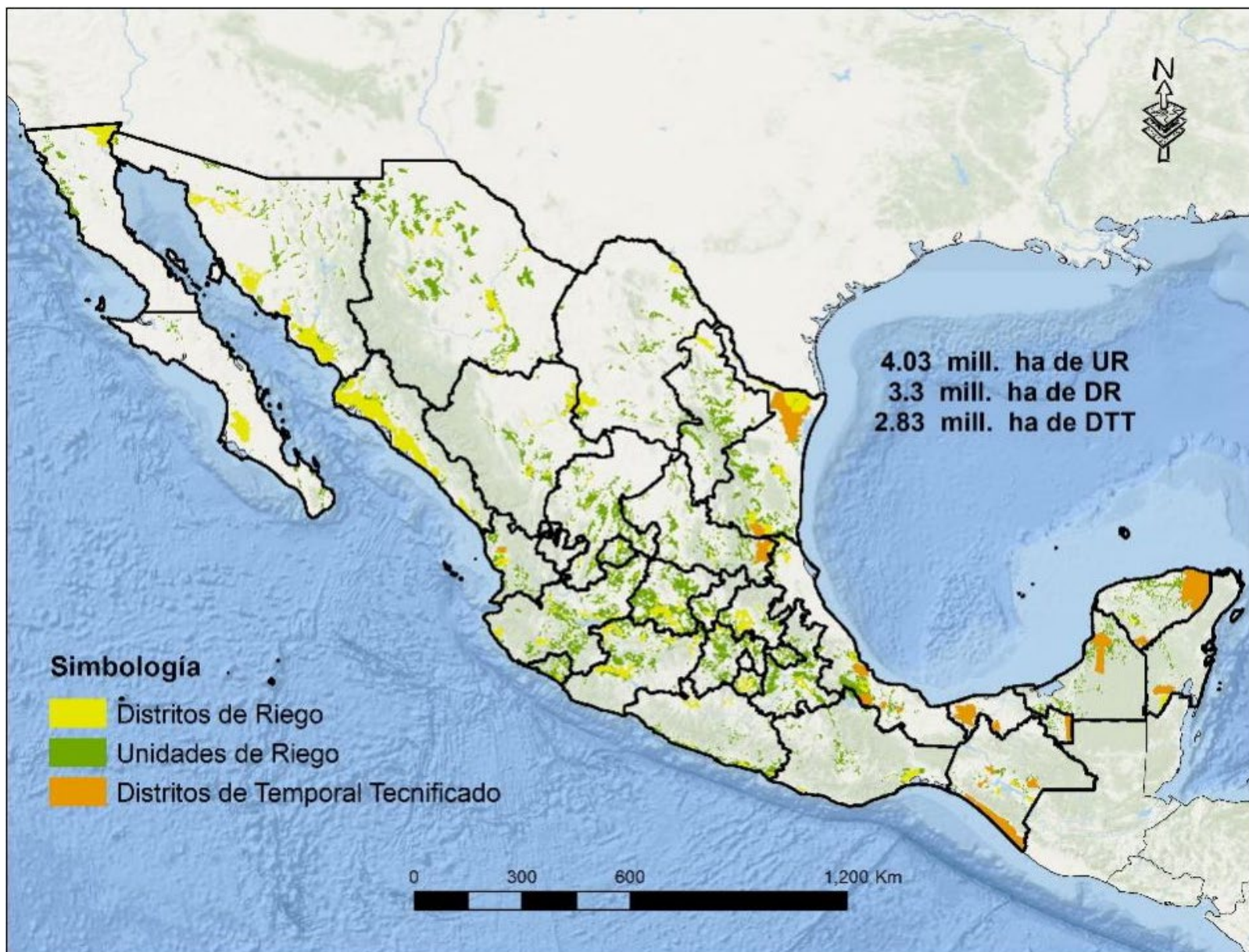
Para el caso de cuencas hidrológicas, la información de Conagua incluía las estimaciones de la disponibilidad media anual de agua (dispc), realizadas como la diferencia entre los volúmenes medios anuales del escurrimiento en el cauce principal en la salida de la cuenca hidrológica y el volumen comprometido (ambos calculados de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-011-Conagua-2015). La base de datos procesada indicaba que de las 757 cuencas hidrológicas en que se divide el país, 104 cuencas se reportan con disponibilidad negativa o con déficit hídrico. Utilizando su localización geográfica, cada UR se asoció con un acuífero y cuenca para dimensionar la participación de las UR en los acuíferos sobreexplotados y cuencas deficitarias. Se analizó el grado de concentración de las UR superficiales y subterráneas localizadas en acuíferos deficitarios, donde la recarga es menor que la extracción.

## Resultados

### Distribución espacial del tamaño de las unidades de riego según su fuente de abastecimiento

El anterior directorio oficial de las unidades de riego compilado por Conagua establecía un registro de 39 492 UR para una superficie regable total de 2 956 420 hectáreas, con 901 963 usuarios de riego (Colpos, 2006); 22 años después —en el inventario de UR de Conagua (2018b) que se analiza en este trabajo (Figura 2)— las UR totalizan una superficie regable de 4 026 178.43 hectáreas, distribuida en 50 735 UR y 780 868 usuarios de riego, con un tamaño medio de UR de 79.4 hectáreas, un tamaño medio de parcela por usuario de 5.2 hectáreas y 15 usuarios en promedio por UR. No existen registros oficiales de grandes programas de apoyo gubernamentales que justifiquen la incorporación de la superficie regable del país en casi un millón de hectáreas nuevas en UR. Las razones de incremento pueden deberse a la apertura de nuevas superficies bajo riego sin la intervención o conocimiento del Estado; a la integración de superficie no regable en el inventario; y/o a la falta de inventarios frecuentes y confiables de las UR. También puede deberse a que varias UR no se inventariaron por Conagua, como es el caso del estado de Guerrero que tiene varias UR en el Repda que no aparecen en el inventario, posiblemente por problemas de acceso e inseguridad durante la compilación en campo de dicho inventario.





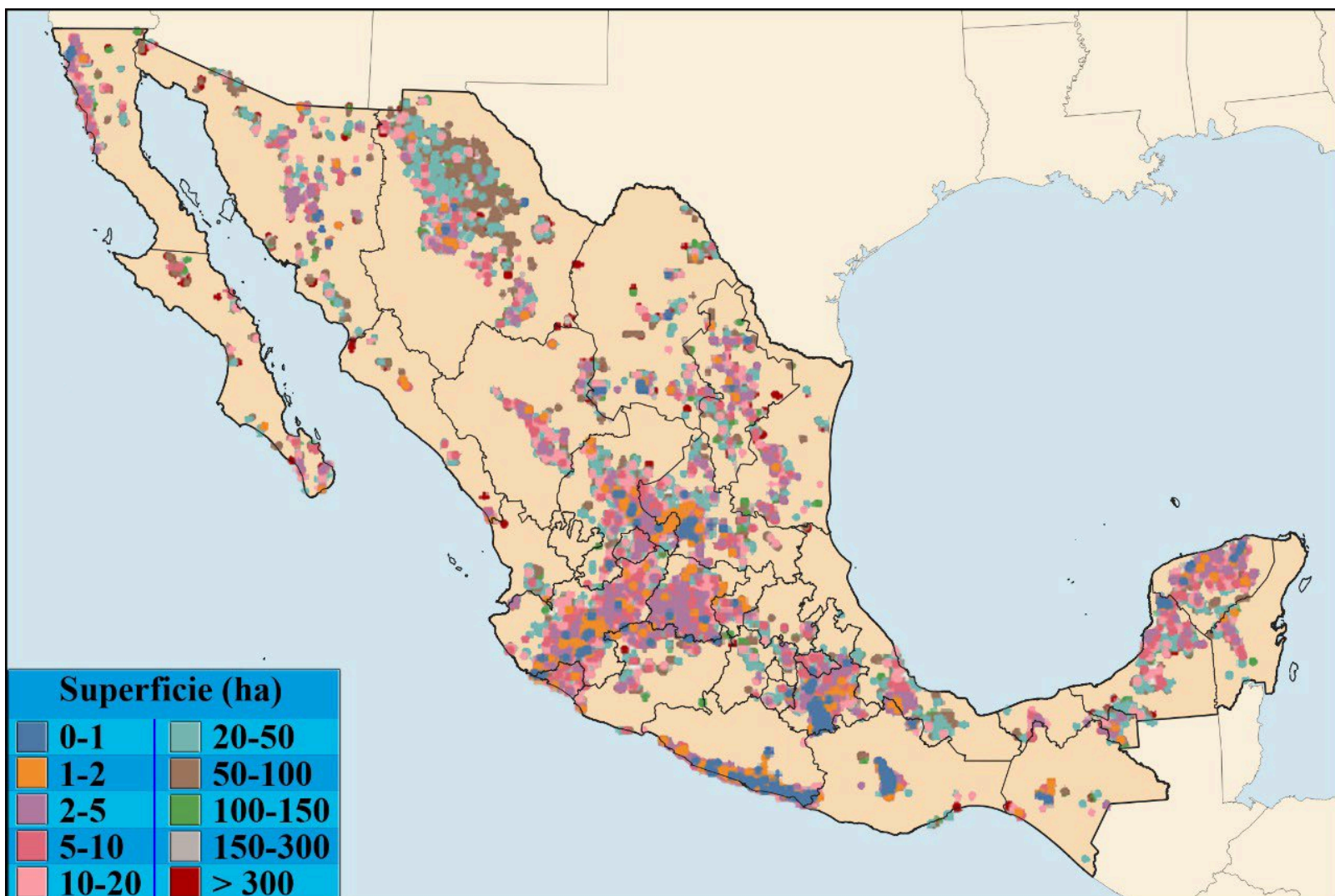
**Figura 2.** Áreas de riego y drenaje agrícola administradas por Conagua.

Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b).

De acuerdo con los datos analizados, el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de las UR. La distribución de las UR

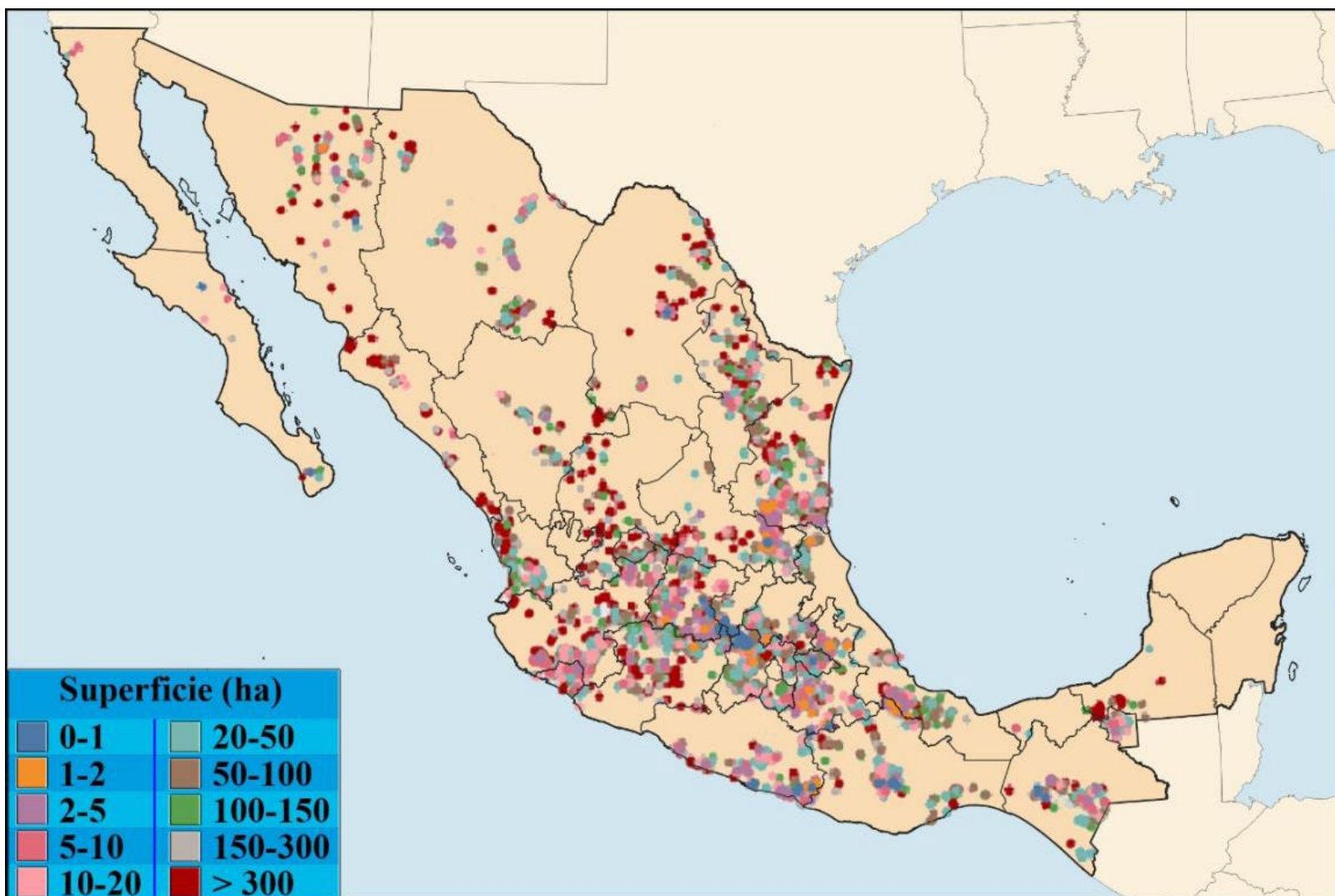
por fuentes subterránea y superficial se muestran en la Figura 3 y Figura 4, respectivamente. La presencia de las UR con fuente de aprovechamiento subterránea se concentra en las regiones áridas del norte y centro del país, así como en las penínsulas de Yucatán y Baja California; mientras que las UR abastecidas por fuentes superficiales se concentran en el noreste y centro del país, así como en las llanuras costeras de Nayarit, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.





**Figura 3.** Distribución de UR abastecida por fuentes subterráneas.

Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b).



**Figura 4.** Distribución de las UR abastecidas por fuente superficiales.

Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b).

Según se muestra en la Tabla 1, existe una gran diferencia entre las UR según su fuente de abastecimiento. El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de las UR del país: abastece al 65% de la superficie regable, al 87% de UR, y al 42.3% de los usuarios de las UR.

**Tabla 1.** Principales indicadores estadísticos de las UR en México.

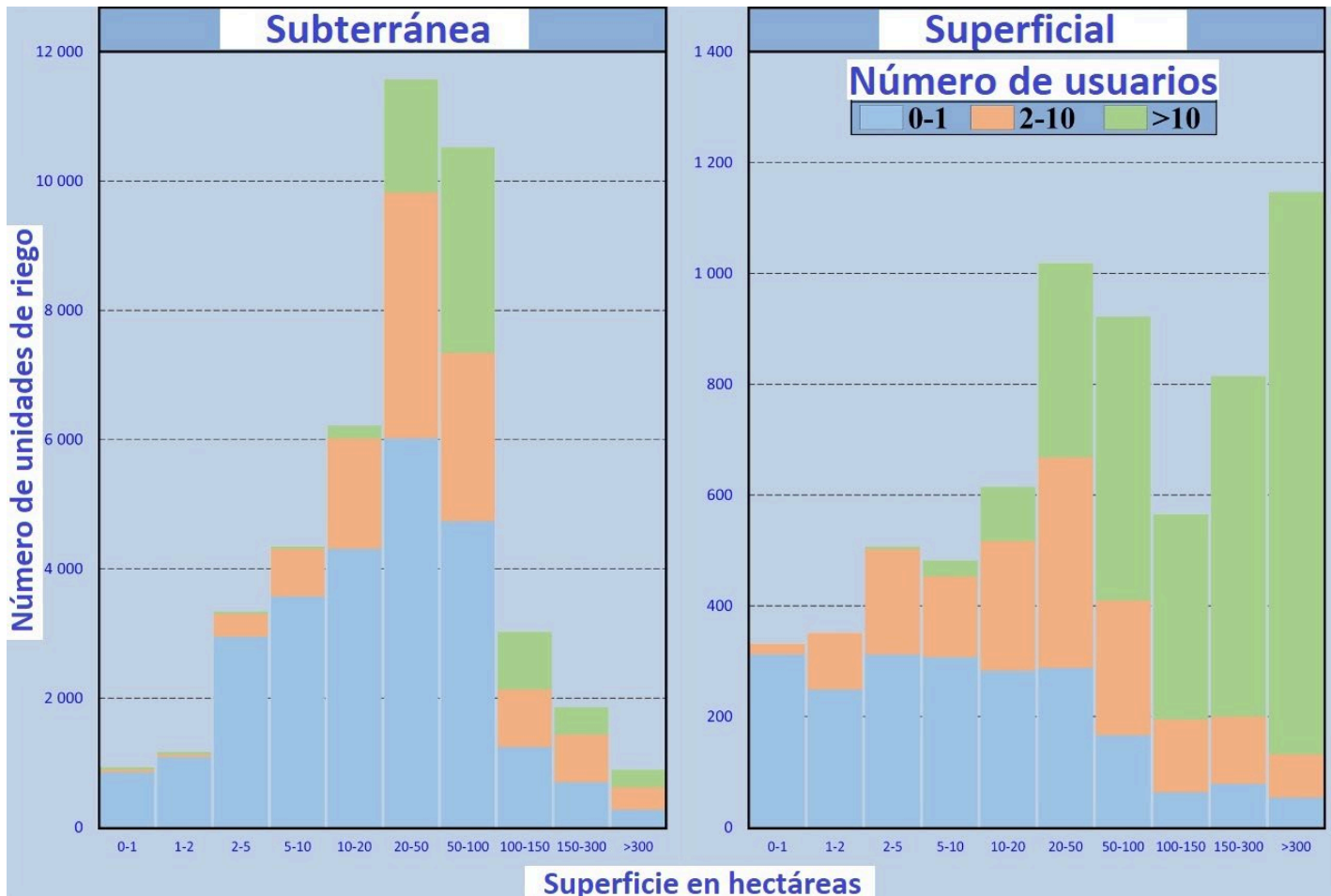
Tipo de fuente de abastecimiento	Superficie regable ha (%)	Número de UR (%)	Número de usuarios (%)	Tamaño medio UR (ha)	Tamaño medio parcela (ha)	Usuarios promedio por UR
Subterránea	2 625 081.67 (65.2)	44 254 (87.2)	330 577 (42.3)	59.3	7.9	8
Superficial	1 401 096.24 (34.8)	6 474 (12.8)	450 284 (57.7)	216.4	3.1	70
Total	4 026 177.91 (100)	50 728 (100)	780 861 (100)	79.4	5.2	15

Fuente: elaboración con datos de Conagua 2018b.

Las UR con fuentes de abastecimiento subterráneas están conformadas por pocos usuarios, pero con mayor superficie por usuario (Tabla 1). Los usuarios por UR fueron de 8 y 70; y para hectáreas por usuario de 7.9 y 3.1 para las fuentes subterránea y superficial, respectivamente. Lo anterior indica que las UR que emplean agua subterránea se concentran en pocos usuarios (menos de 10); y las que usan aguas superficiales tienen que compartir su fuente con más usuarios.

La Figura 5 muestra otra forma de visualizar las UR abastecidas por pozos, que indican una gran dispersión, así como la predominancia de UR con un solo usuario, concentradas en UR con superficies menores de 100 hectáreas. Por otra parte, en las UR abastecidas de aguas superficiales participan varios usuarios en UR con superficies mayores a 20 hectáreas. Cabe mencionar que las UR mayores de 300 hectáreas con más de 10

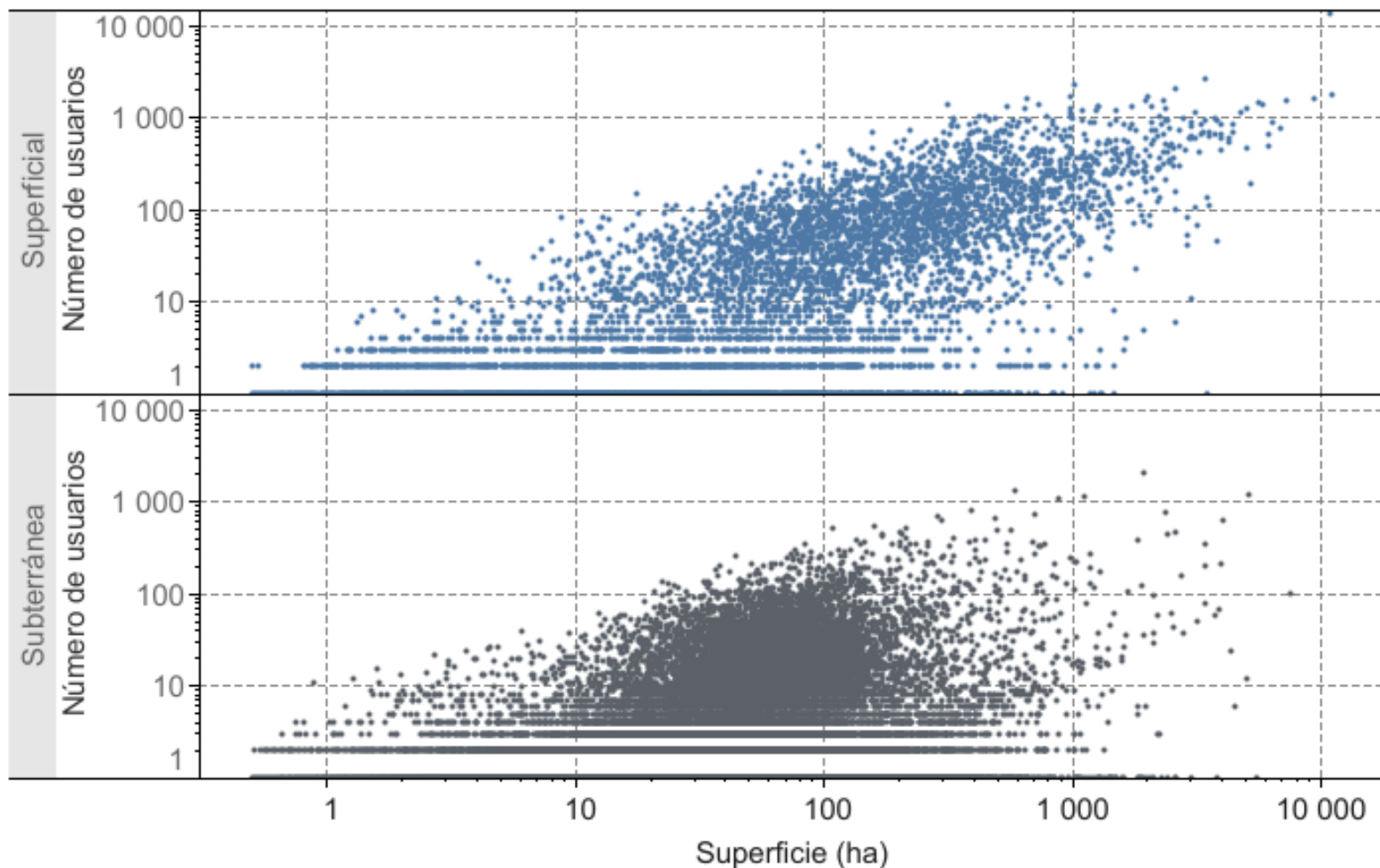
usuarios (que corresponde al 15% de la UR con fuentes superficiales) se han mantenido bajo un esquema autogestivo con poca intervención gubernamental.



**Figura 5.** Número de UR agrupadas por su superficie total regable en hectáreas, según su fuente de abastecimiento: subterránea (izquierda) y superficial (derecha). Cada color de la barra vertical indica tres grupos del número de usuarios de las UR en los grupos en que se dividió la superficie total de la UR. Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b).



Para tener otra perspectiva de la relación área *versus* número de usuarios por UR, se generó la Figura 6, la cual muestra que para el caso de UR con fuente superficial hay una mejor correlación entre la superficie regable y el número de usuarios; es decir, a mayor superficie mayor es el número de usuarios. Para el caso de la fuente subterránea, dicha relación se concentra en la zona de 10 a 200 ha con un total de usuarios por UR de 1 a 100.



**Figura 6.** Superficie y número de usuarios por Unidad de Riego según su fuente de abastecimiento. Cada punto representa a una Unidad de Riego. Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b).

Se puede concluir que en México las UR tienen una superficie regable en el rango de 10 a 2 000 ha, y de 5 a 500 ha para fuentes superficiales y subterráneas, respectivamente. En cuanto al número de usuarios, el rango es de 1 a 1 000, y de 1 a 200 usuarios para fuentes superficiales y subterráneas, respectivamente. Lo anterior indica que la

superficie y el número de usuarios por UR dependen de la fuente de abastecimiento. En India, áreas menores de 2 000 ha se consideran de pequeña irrigación (MWR, 2019), mientras que en Sri Lanka las superficies mayores de 600 ha se califican de grande irrigación (Murray & Little, 2000). Cabe mencionar que de los 86 DR que hay en el país, al menos 10 distritos no tienen una superficie regada anual mayor de 2 000 ha; esto indica que se clasificarían como de pequeña irrigación y no como de grande irrigación.

## UR en los acuíferos y cuencas del país

El panorama anterior muestra que las UR están muy dispersas en el país, operadas por usuarios independientes con limitada solidaridad hídrica, que fue propiciada por una gestión del agua centralizada y con una limitada estructura para regular extracciones, como ha sido comentado por Shah *et al.* (2007) para zonas abastecidas por acuíferos.

Para tener una mejor dimensión de la participación de las UR en la sobreexplotación de los acuíferos se generó la Tabla 2, que muestra la distribución de las UR subterráneas según el grado de explotación del acuífero que las abastece. Las UR con fuente de aprovechamiento subterráneo están dispersas en 463 acuíferos, de los cuales 142 acuíferos presentan una condición de sobreexplotados, 175 de subexplotación y 146 de equilibrio. De la Tabla 2 se observa que cerca de la mitad de las UR en superficie regable son abastecidas por acuíferos sobreexplotados y las dos cuartas partes restante en acuíferos en equilibrio subexplotados. Si se considera que 2/3 en UR y 1/3 en DR de la superficie regable es



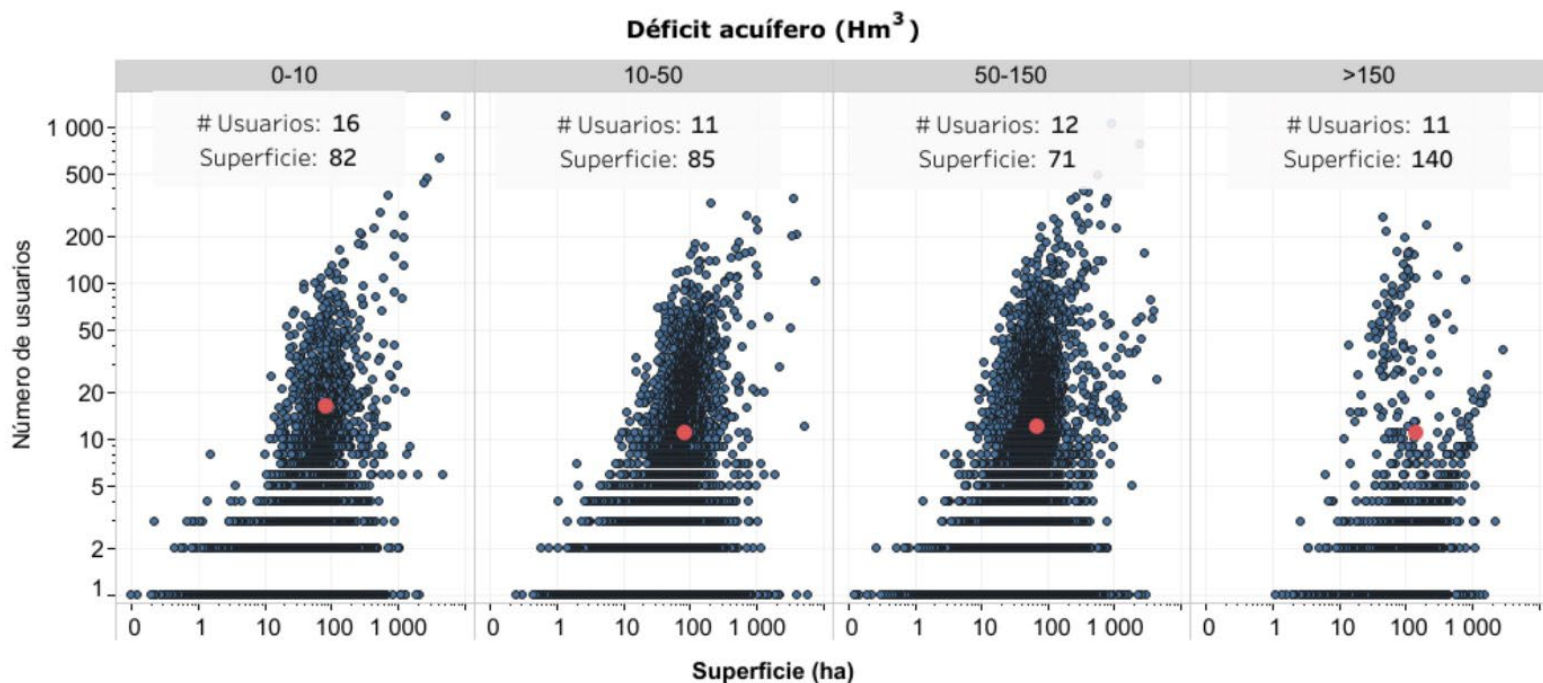
abastecida por aguas subterráneas, y si además se agrega que el 75.2% de las UR se localizan en acuíferos sobreexplotados o en equilibrio, es vital controlar las extracciones de las UR en acuíferos críticos, así como en los DR abastecidos por aguas subterráneas, por lo que el Estado debe propiciar el desarrollo de capacidades de autorregulación y autogestión de los usuarios de las UR, como lo plantearon Wester *et al.* (2009).

**Tabla 2.** Participación de las UR con fuente de aprovechamiento subterránea localizadas en los acuíferos según su grado de explotación.

Indicador UR	Todos los acuíferos (% del total)	Acuíferos subexplotados (% del total)	Equilibrio (% del total)	Acuíferos sobreexplotados (% del total)
Superficie regable	2 625 081.67 (100)	585 446.91 (22.3)	663 038.39 (25.3)	1 376 596.37 (52.4)
Número de Usuarios	330 577 (100)	73 519 (22.2)	112 549 (34.0)	144 509 (43.7)
Número de UR	44 254 (100)	10 961 (24.8)	12 316 (27.8)	20 977 (47.4)

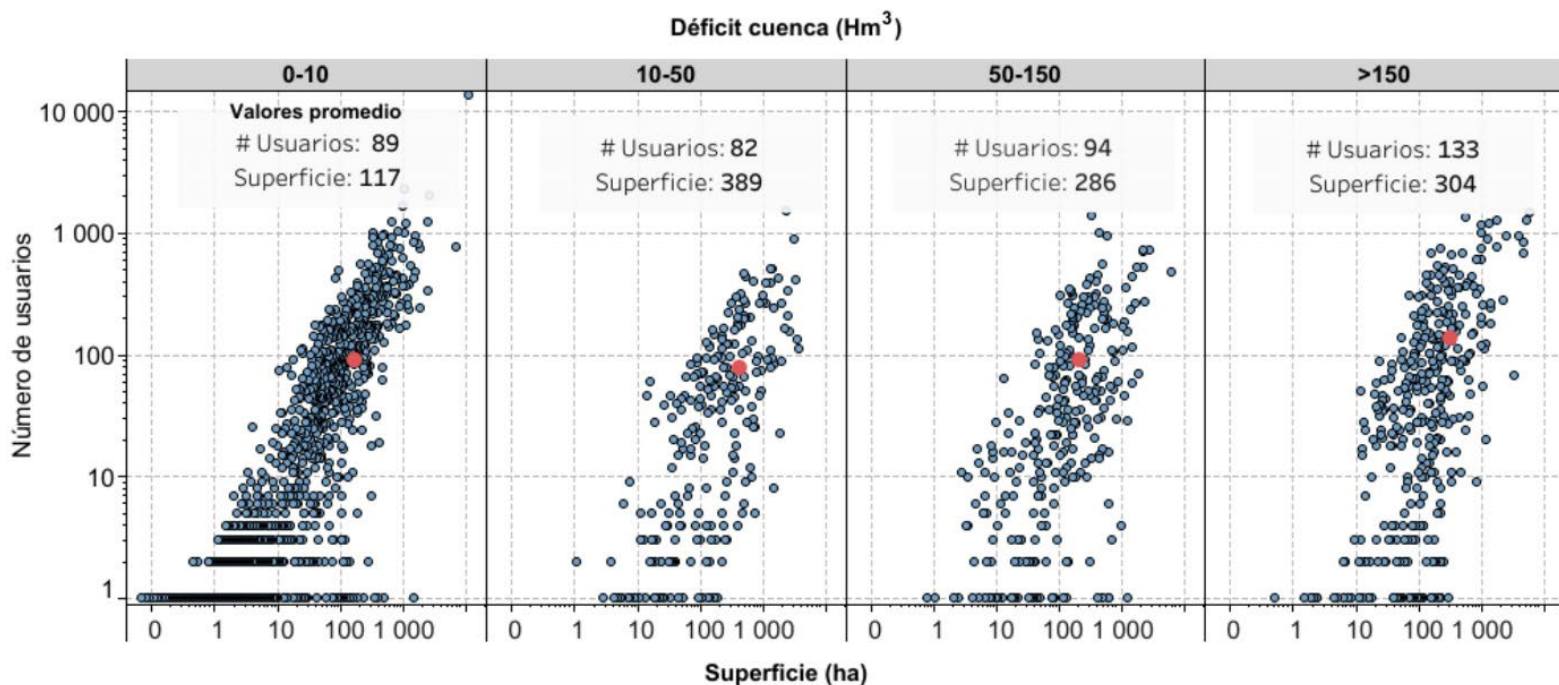
En la Figura 7 y Figura 8 se muestra la heterogeneidad de las UR abastecidas por agua subterránea y por agua superficial, respectivamente, bajo condiciones de déficit hídrico. Esta heterogeneidad puede tener su origen, entre otros, en los siguientes aspectos: tipos de organización, infraestructura disponible y tipo de fuente de abastecimiento (Mazabel, 2007). En particular, existe un gran reto para

caracterizar las UR abastecidas de aguas subterráneas debido sobre todo a la falta de interés a organizarse y a suministrar información, así como a la concentración de concesiones por usuarios individuales o bien agrupadas en pocas familias. Para el caso de las UR subterráneas en acuíferos deficitarios, concentran su superficie de 10 a 500 ha y menor a 100 usuarios para 3 de las 4 zonas de déficit del acuífero en  $\text{Hm}^3$  (Figura 7).



**Figura 7.** Superficie regable y número de usuarios por UR según la disponibilidad del acuífero que los abastece. El punto rojo indica valores promedios y cada punto azul representa a una UR. Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018a) y Conagua (2021b).

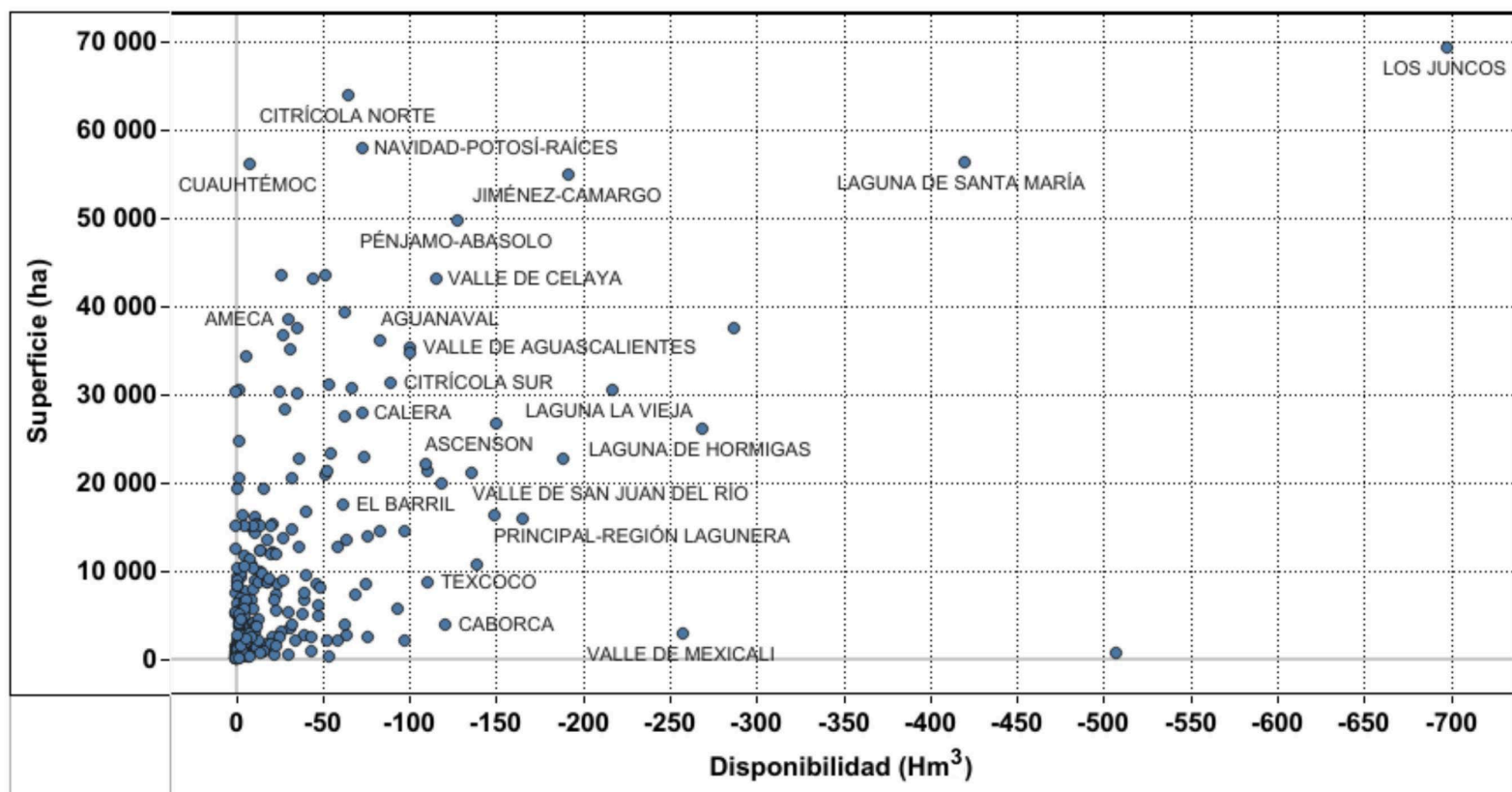
Para el caso de las UR superficiales en cuencas deficitarias, se muestran dos casos que se concentran para déficit hídrico menor a 10  $\text{Hm}^3$  y mayor a 150  $\text{Hm}^3$ .



**Figura 8.** Superficie regable y número de usuarios por Unidad de Riego según la disponibilidad de agua superficial de la cuenca que las abastece. El punto rojo indica valores promedios y cada punto azul representa a una Unidad de Riego. Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b) y Conagua (2021b).

A nivel más detallado, los resultados indican que en México se tiene una superficie de 1 376 596 hectáreas correspondientes a las UR abastecidas de aguas subterráneas (Tabla 2), que se encuentran en 223 acuíferos en condiciones de déficit hídrico (Figura 9). El 78% de estas UR

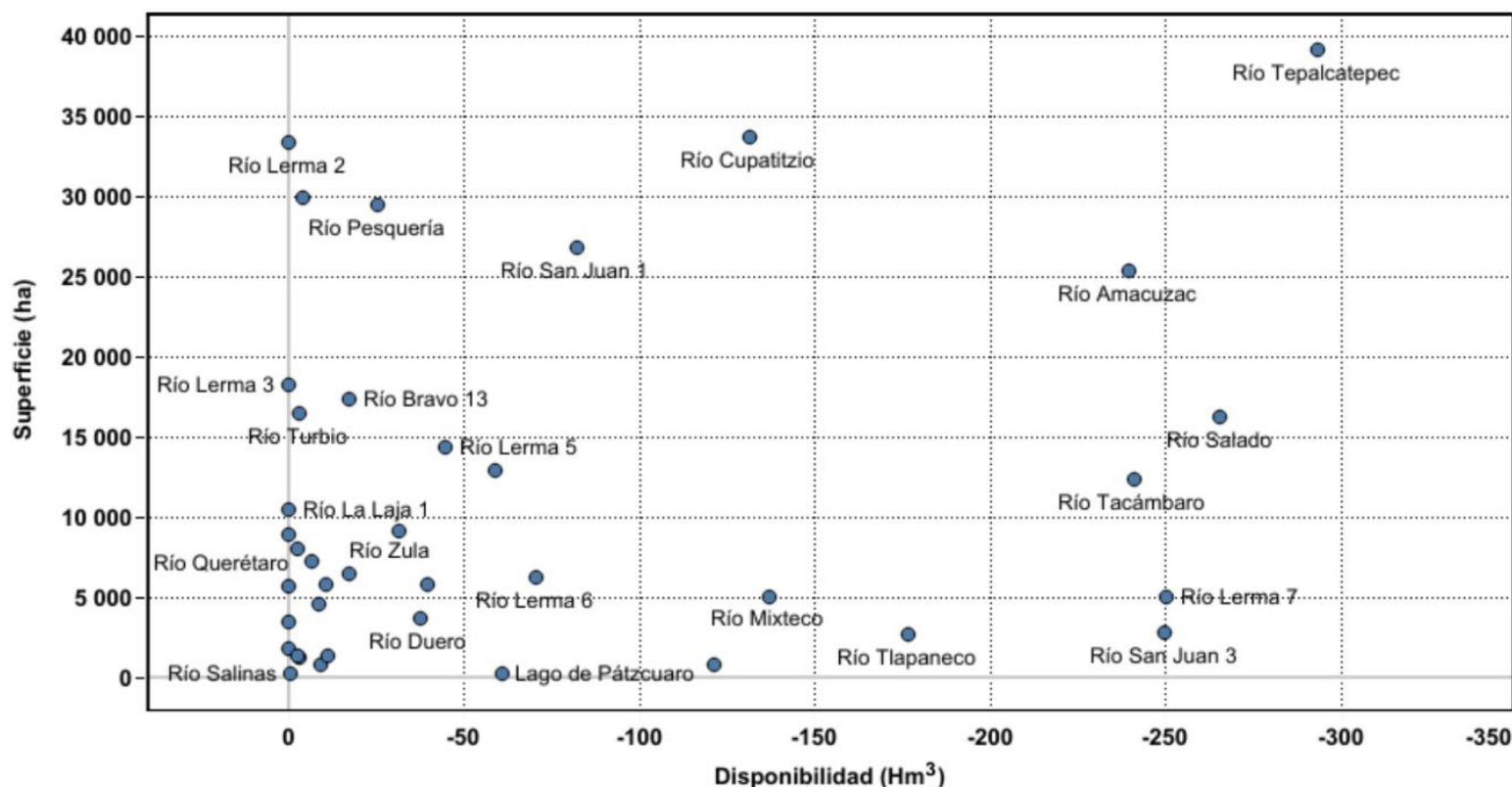
extraen agua de un acuífero deficitario y el 33% de estas UR corresponden a monousuario. Además, existen 64 acuíferos donde las UR abastecidas de aguas subterráneas suman una superficie mayor de 10 000 hectáreas y 18 acuíferos con déficit en la disponibilidad mayores de 100 hectómetros cúbicos ( $\text{Hm}^3$ ), con superficies mayores de 10 000 hectáreas (Figura 9). De esta forma, por ejemplo, las UR del estado de Chihuahua se abastecen de tres acuíferos en condiciones de grave presión hídrica: Los Juncos, Laguna de Santa María y Jiménez-Camargo.



**Figura 9.** Superficie total regable de las UR en acuíferos sin disponibilidad. Cada punto representa a un acuífero. Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b) y Conagua (2021a).

A diferencia de las UR en acuíferos con déficit, son pocas las UR que se encuentran en cuencas con aguas superficiales deficitarias; se estimó una superficie de 438.7 mil hectáreas, correspondientes a 2 189 UR abastecidas de aguas superficiales, que se encuentran en 42 cuencas deficitarias (Figura 10). Existen seis cuencas deficitarias (mayor a 45 Hm<sup>3</sup>) con superficies regables importantes de UR: Río Tepalcatepec, Río Cupatitzio, Río San Juan 1, Río Amacuzac, Río Salado y Río Lerma 5. Además, existen seis cuencas con superficies regables importantes, cuya disponibilidad pudiera ser crítica a mediano plazo: Río Lerma 2, Río Nexapa, Río Pesquería, Río Lerma 3, Río Bravo 13, y Río Turbio. El presente estudio no validó la calidad del inventario de UR. Pudiera haber UR que no se inventariaron por la Conagua. Por ejemplo, la cuenca del Río Medio Balsas es la más deficitaria (2 428 Hm<sup>3</sup>) del país, sin embargo, la superficie regable de las UR inventariadas en dicha cuenca es insignificante (menor a 2 mil hectáreas), por lo que no se muestra en la Figura 10; lo mismo ocurre con la cuenca del Río Bajo Atoyac (déficit de 738.81 Hm<sup>3</sup> y superficie de UR de 2 675.61 ha), y Río Bravo 3 (déficit de 571.495 Hm<sup>3</sup> y superficie de UR de 1 161.71 ha).





**Figura 10.** Superficie total regable de UR en cuencas deficitarias. Cada punto representa a una cuenca. Fuente: elaboración con datos de Conagua (2018b) y Conagua (2021b).

Las UR de agua subterránea de un usuario pueden estar motivadas por sus intereses individuales con una tendencia a la sobreexplotación del acuífero, un recurso limitado que comparten con otros individuos; es el dilema de la *tragedia de los comunes* descrito por Hardin (1968). Lo anterior ha sido fomentado incluso por los apoyos gubernamentales durante varias décadas, que han promovido la construcción, reparación y mantenimiento de pozos profundos para riego.

Por otra parte, los resultados muestran también que la intervención del Estado ha sido débil para favorecer la sustentabilidad de los acuíferos que abastecen a las zonas de riego, con acciones efectivas que los usuarios de riego no pueden emprender solos, como son el monitoreo, la reglamentación y el control de las extracciones (Carter & Howsam, 1994).

Para un mejor estudio, caracterización y entendimiento de las UR, se propone clasificarlas en función de su administración, misma que considera la presencia o ausencia de burocracia y tecnocracia, y que están relacionadas con el tamaño y, por ende, con la complejidad del sistema de riego, en los siguientes grupos:

1. **Aisladas con menos de 10 usuarios.** Manejan su propia fuente de abastecimiento sin intervención de terceros. Estas UR han sido exitosas productivamente y al estar aisladas se facilita la explotación de su fuente de abastecimiento sin un control oficial, por lo que no tienen interés para organizarse ante la pérdida de solidaridad en estas UR caracterizadas por pocos usuarios y cuyos intereses son individuales por encima de los beneficios sociales o ambientales.
2. **Organizadas autogestivas.** Constituyen organizaciones de riego vernáculo que se basan en una alta participación cooperativa de los usuarios para operar y organizar las tareas de la UR, así como para resolver los conflictos y entregar el servicio de riego usando el conocimiento local (Palerm-Viqueira, 2005). Estas UR han estado funcionando con poca intervención del Estado. En general producen para autoconsumo, por lo que su producción es vital para su supervivencia.



3. **Organizadas intermedias.** Este tipo de organizaciones de riego mantiene rasgos de organizaciones autogestivas, complementada con los conocimientos sobre la gestión “moderna” del agua de organizaciones burocráticas (Freeman, Bhandarkar, Shinn, Wilkins-Wells, & Wilkins-Wells, 1989). El gobierno mexicano ha invertido grandes recursos para organizar asociaciones civiles de usuarios (ACU) a fin de facilitar su gestión administrativa por parte de Conagua. Al interior de las ACU, la participación de los usuarios de riego es limitada y se promueve la centralización de la gestión de los recursos hidráulicos de acuerdo con la administración oficial de dichos UR (Palerm-Viqueira, 2009).
4. **Organizadas oficialmente.** Existen varias UR, como las que comparten la misma fuente de agua superficial de un DR, que tienen una organización muy similar a los módulos de riego que conforman un DR. Aunque estas UR tienen algunos rasgos de autogobierno, difieren grandemente de las organizaciones de riego tradicionales con autogobierno (Palerm-Viqueira, 2020). Las decisiones de los usuarios que conforman estas UR la realizan sus representantes, que se constituyen en mesas directivas, y donde los usuarios que la conforman tienen que realizar trámites para tener acceso al servicio de riego y pagar una cuota diferenciada, por lo usual por el tipo de cultivo y superficie a cultivar, para contar con el servicio de riego. Tales UR son gestionadas bajo una gestión uniforme promovida y normada por el gobierno, por lo que en general concentran los apoyos para las UR por parte de la Comisión Nacional del Agua.

Finalmente, es importante mencionar que la LAN vigente indica de forma muy general qué es y cómo se forma una UR. Lo anterior fomenta una dispersión de las UR y complica que se lleve un registro de las propias UR debido a que el Repda de Conagua solo lleva el registro de los derechos de agua para uso agrícola en general, sin tener el control del padrón de usuarios de cada concesión para personas morales de las UR, que sí existe para las ACU de los distritos de riego.

## Conclusiones

Se puede destacar que las UR difieren grandemente por el número de usuarios y superficie regable en función del tipo de fuente de abastecimiento. Al comparar las UR abastecidas de fuentes subterráneas con las abastecidas de fuentes superficiales se encontró que las primeras están integradas con UR con pocos usuarios, pero con una mayor superficie media por usuario; mientras que en las segundas se presenta lo contrario: muchos usuarios por UR, pero con menor superficie media por usuario.

Los resultados también indican que las UR están dispersas, predominando las UR de pocos usuarios (hasta 10 usuarios), lo cual indica que es necesario incrementar sus redes de solidaridad hídrica para proteger sus fuentes de agua y su territorio (cuenca/acuífero). La mayoría de las UR se ha desarrollado de forma autónoma, por lo que el papel del Estado debe ser para potenciar su desarrollo y no para controlarlas.

Controlar las extracciones en acuíferos sobreexplotados debe enfocarse a supervisar y controlar los volúmenes extraídos y

concesionados, así como promover la organización de UR dispersas para fomentar la autogestión colectiva de las UR por acuífero.

Es importante clasificar a las UR en función de su grado de organización existente, como la que se propone en este trabajo, misma que puede ser la base para futuros inventarios de UR, al igual que para un mejor estudio, caracterización y comprensión.

## Referencias

- Bottrall, A. F. (1981). *Comparative study of the management and organization of irrigation projects*. World Bank Staff Working Paper No. 458. Washington, DC, USA: The World Bank.
- Brown, D., Morton, J., & Grimble, R. (1995). *Small-scale irrigation in sub-Saharan Africa: Prospects for development*. London, UK: Natural Resources Institute.
- Byrns, F. E. (1957). The role of the civil engineer in irrigation. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 47(7), 215-217. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/24533882>
- Carter, R. C., & Howsam, P. (1994). Sustainable use of groundwater for small-scale irrigation. *Land Use Policy*, 11(4), 275-285. DOI: 10.1016/0264-8377(94)90053-1

- Colpos, Colegio de Postgraduados. (1998). *Diagnóstico preliminar sobre superficies regables y volúmenes requeridos en las Unidades de Riego organizadas y sin organizar. Informe final para la Comisión Nacional del Agua (CNA), Subdirección General de Operación. Coordinación de Uso Eficiente del Agua*. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Colpos, Colegio de Postgraduados. (2006). *Sistema de Información de Unidades de Riego organizadas y sin organizar. SIUR (v2.0)*. Montecillo, México: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación, Coordinación de Uso Eficiente del Agua del Colegio de Postgraduados.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2012). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Recuperado de <https://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgaa-37-12.pdf>
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2013). *Suspensión provisional de libre alumbramiento*. Recuperado de <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/LibreAlumbramiento.html>
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2018a). *Atlas del Agua en México. Edición 2018*. Recuperado de [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM_2018.pdf)
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2018b). *Base de datos geoespacial. Sistema Nacional del Agua (SINA)*. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2019). *Estadísticas agrícolas de las unidades de riego*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-unidades-de-riego>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2020). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2021a). *Disponibilidad de los acuíferos 2020*. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos#&ui-state=dialog>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2021b). *Disponibilidad de cuencas hidrológicas 2021*. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=mapa&o=0&n=nacional>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2022). *Base de datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)*. Recuperado de <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>

FAO, Food and Agriculture Organization. (1987). Consultation on irrigation in Africa. Irrigation and drainage, Irrigation and Drainage Paper No. 42. *Proceeding of the Consultation on Irrigation in Africa*. Lomé, Togo, 21-25 April, 1986.

- Foster, S., Garduño, H., & Kemper, K. (2004). *Mexico — The 'COTAS' — Progress with stakeholder participation in groundwater management in Guanajuato*. World Bank GW-MATE Series Case Profile Collection No. 10. Washington, DC, USA: World Bank.
- Freeman, D. M., Bhandarkar, V., Shinn, E., Wilkins-Wells, J., & Wilkins-Wells, P. (1989). *Local organizations for social development. concepts and cases of irrigation organization*. Colorado, USA: Westview Press. Recuperado de [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABD173.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD173.pdf)
- Hagos, F., Makombe, G., Namara, R. E., & Awulachew, S. B. (2009). *Importance of irrigated agriculture to the Ethiopian economy: Capturing the direct net benefits of irrigation* (IWMI Research Report 128). Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162, 1243-1248.
- Horst, L. (1998). *The dilemmas of water division: Considerations of criteria for irrigation system design*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Hunt, R. C. (1988). Size and structure authority in canal irrigation. *Journal of Anthropological Research*, 44(4), 335-355.
- Lopez-Gunn, E., & Cortina, L. M. (2006). Is self-regulation a myth? Case study of Spanish groundwater user associations and the role of higher-level authorities. *Hydrogeology Journal*, 14(3), 361-379. DOI: 10.1007/s10040-005-0014-z



- Mango, N., Makate, C., Tamene, L., Mponela, P., & Ndengu, G. (2018). Adoption of small-scale irrigation farming as a climate-smart agriculture practice and its influence on household income in the Chinyanja Triangle, Southern Africa. *Land*, 7(2), 49. DOI: 10.3390/land7020049
- Martínez-Sanmartín, L. P. (2020). Elements of resilience in a coupled natural and human system. In: Rosenberg, A. (ed.). *Acequias of the Southwestern United States*. Agricultural Experiment Station. Research Report 796. Las Cruces, USA: College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, New Mexico State University.
- Mazabel, D. G. (2007). Organización social y "pequeño riego" en México. Un acercamiento a la región Centro. *Espacios Públicos*, 10(20), 201-215.
- Murray, F. J., & Little, D. C. (2000). *The nature of small-scale farmer managed irrigation systems in North West Province, Sri Lanka and potential for aquaculture* (Working Paper SL1.3. Project R7064). Stirling, Scotland: Institute of Aquaculture, University of Stirling.
- MWR, Ministry of Water Resources. (2019). *Manual for data collection in 6th minor irrigation census (reference year: 2017-18)*. Recuperado de [https://irrigation.assam.gov.in/sites/default/files/swf\\_utility\\_folder/departments/irrigation\\_webcomindia\\_org\\_oid\\_3/portlet/level\\_2/manual\\_for\\_data\\_collection\\_in\\_6th\\_mi\\_census.pdf](https://irrigation.assam.gov.in/sites/default/files/swf_utility_folder/departments/irrigation_webcomindia_org_oid_3/portlet/level_2/manual_for_data_collection_in_6th_mi_census.pdf)

- Ortiz, R. G. (1993). Conceptos originales relevantes de la Ley de Aguas Nacionales. *Ingeniería Hidráulica en México*, 1, 7-13. Recuperado de <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/705>
- Palerm, A. (1987). *Introducción a la teoría etnológica (original 1967)*. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Palerm-Viqueira, J. (2005). Gobierno y administración de sistemas de riego. *Región y Sociedad*, 17(34). DOI: 10.22198/rys.2005.34.a614
- Palerm-Viqueira, J. (2009). Distritos de riego en México, algunos mitos. En: Palerm, J., & Martínez-Saldaña, T. (eds.). *Aventuras con el agua. La administración del agua de riego: historia y teoría* (pp. 277-328). Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Palerm-Viqueira, J. (2020). Caracterización de los módulos de los distritos de riego y presencia de organizaciones locales. *Región y Sociedad*, 32, 1335. DOI: 10.22198/rys2020/32/1335
- Puy, A., Muneeppeerakul, R., & Balbo, A. (2017). Size and stochasticity in irrigated social-ecological systems. *Scientific Reports*, 7, 43943. DOI: 10.1038/srep43943
- Sánchez, M. (2002). El eslabón perdido: la administración local del agua en México. En: Ávila-García, P. (ed.). *Agua, cultura y sociedad en México*. Zamora, México: El Colegio de Michoacán, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Shah, T., Burke, J., Villholth, K., Angelica, M., Custodio, E., Daibes, F., Hoogesteger, J., Giordano, M., Girman, J., van der Gun, J., Kendy, E., Kijne, J., Llamas, R., Masiyandima, M., Margat, J., Marin, L., Peck, J., Rozelle, S., Sharma, Bharat, R., Vincent, L., & Wang, J. (2007). Groundwater: A global assessment of scale and significance. In: Molden, D. (ed.). *Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture* (pp. 395-423). London, UK: Earthscan; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- Silva-Ochoa, P. (2000). *Unidades de riego: la otra mitad del sector agrícola bajo riego en México*. (IWMI Serie Latinoamericana No. 19). México, DF, México: Instituto internacional del Manejo del Agua.
- Uphoff, N. (1986) *Improving international irrigation management with farmer participation: Getting the process right*. Boulder, USA: Westview Press. DOI: 10.4324/9780429043536
- Vanschoenwinkel, J., & Van Passel, S. (2018). Climate response of rainfed *versus* irrigated farms: The bias of farm heterogeneity in irrigation. *Climatic Change*, 147, 225-234. DOI: 10.1007/s10584-018-2141-2
- Wester, P., Hoogesteger, J., & Vincent, L. (2009). Local IWRM organizations for groundwater regulation: The experiences of the Aquifer Management Councils (COTAS) in Guanajuato, Mexico. *Natural Resources Forum*, 33, 29-38. DOI: 10.1111/j.1477-8947.2009.01206.x