

JAIME HOOGESTEGER^a

PHILIPPUS WESTER^b

GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE USO AGRÍCOLA: LOS RETOS DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIO-AMBIENTAL Y LA EQUIDAD

RESUMEN

El agua subterránea es el sustento de millones de personas que viven en ámbitos rurales y urbanos en el mundo. Basados en la teoría sobre el acceso, en este artículo presentamos cómo el desarrollo del uso de las aguas subterráneas ha aportado al bienestar humano en diversos lugares del mundo; y cómo su uso intensivo está causando problemas de salud y acceso al agua en poblaciones vulnerables debido a la sobreexplotación de los acuíferos. Mostramos las dificultades que enfrentan los esquemas de regulación estatal para controlar el uso del agua subterránea y presentamos los modestos logros de otros enfoques de gobernabilidad dirigidos a resolver los problemas existentes con las aguas subterráneas. De igual manera evidenciamos los actuales procesos de acumulación y desposesión del agua que se dan a raíz de la anarquía en la gestión del agua. Para estudiar estos procesos se propone un marco de análisis con base en el estudio de los territorios hidrosociales, la economía política del agua subterránea y las esferas de control que definen el acceso a la misma. Este análisis destaca los desafíos que presenta idear políticas y modos de gobernanza que contribuyan a la sostenibilidad social y ambiental del agua subterránea.

PALABRAS CLAVE: agua subterránea; gestión del agua; regulación; desposesión; equidad

ABSTRACT

MANAGEMENT OF UNDERGROUND WATER FOR AGRICULTURAL USE: THE CHALLENGES OF SOCIOENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND EQUITY

Groundwater supports the livelihood of millions of people living in rural and urban areas around the world. Based on the theory of access, in this article we present how the development of the use of

a Water Resources Management Group, Wageningen University, P.O. Box 47, 6700AA Wageningen, Países Bajos. Jaime.Hoogesteger@wur.nl

b International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), GPO Box 3226, Kathmandu, Nepal. philippus.wester@icimod.org
Water Resources Management Group, Wageningen University.

Fecha de recepción: septiembre 2018. Fecha de aceptación: octubre 2018.

groundwater has contributed to human well-being in various parts of the world; and how its intensive use is causing health and access to water problems in vulnerable populations due to overexploitation of aquifers. We show the difficulties faced by state regulation schemes to control the use of groundwater and present the modest achievements of other governance approaches aimed at solving existing problems with groundwater. In the same way, we show the current processes of accumulation and dispossession of water that occur as a result of anarchy in water management. To study these processes, a framework of analysis is proposed based on the study of hydrosocial territories, the political economy of groundwater and the control spheres that define access to it. This analysis highlights the challenges presented by devising policies and modes of governance that contribute to the social and environmental sustainability of groundwater.

KEYWORDS: groundwater; water management; regulation; dispossession; equity

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es la principal fuente de agua para usos domésticos, urbanos e industriales en muchos países. También provee aproximadamente a 100 millones de hectáreas de agua de riego, de los 300 millones de hectáreas regadas en el mundo (Shah et al., 2007). Como en la mayoría de los casos es una fuente muy segura de agua de alta calidad, las aguas subterráneas se han convertido en la piedra angular de muchas socioeconomías rurales y urbanas en el mundo. El desarrollo incontrolado del uso del agua subterránea acarrea formas abiertas (acumulación de derechos de uso de agua y tierra) así como difusas e invisibles (extracción ilegal de agua, pozos más profundos con bombas más potentes que los demás) de despojo y concentración de acceso (Harvey, 2003). Es así que la gestión del uso intensivo de las aguas subterráneas es uno de los retos más grandes en la gestión del agua. En este artículo buscamos identificar y explicar los procesos y los retos que lleva consigo la gestión equitativa y sustentable del agua subterránea.

Las aguas subterráneas constituyen la parte del ciclo hidrológico invisible, subterráneo. Sólo alrededor del 3 % del agua en el mundo es agua dulce. Aunque hay mucha incertidumbre acerca de los datos, los casquetes de hielo y los glaciares almacenan aproximadamente el 86 % del agua dulce del mundo, mientras que las aguas subterráneas almacenan 13,5 %. El 0,5 % restante del agua dulce del mundo está en los lagos, la humedad del suelo, los ríos, los embalses y la atmósfera (Jones, 1997). Aunque la reserva de las aguas subterráneas es casi 25 veces la del agua superficial, la recarga anual de las aguas subterráneas se estima en sólo el 10 % de la descarga total de los ríos a nivel mundial (Oki y Kanae, 2006). En vista de que los acuíferos contienen grandes cantidades de agua, el nivel de recarga es rápidamente superado cuando aumenta el bombeo de los acuíferos. Esto es preocupante pues los acuíferos son de crucial importancia para el mantenimiento de humedales y el caudal base de los ríos. Si el nivel freático desciende demasiado, se secan manantiales y humedales; y los ríos pasan de ser

receptores (que reciben el caudal base de las aguas subterráneas) a drenantes (que pierden agua por infiltración hacia el subsuelo).

Desde los años cincuenta del siglo pasado, se ha multiplicado por diez el riego con aguas subterráneas en todo el mundo (Shah et al., 2007), ya que las aguas subterráneas son fácilmente accesibles con la tecnología de pozos y son una fuente de agua segura en muchas áreas. Especialmente desde la década de 1970 se ha producido un auge del uso de las aguas subterráneas en muchos países por los avances en tecnología y la caída sostenida en los precios de las bombas y el combustible o la electricidad para que estas funcionen (a menudo con fuertes subvenciones). En muchas partes del mundo esto ha conducido rápidamente a la sobreexplotación de las aguas subterráneas, con tasas de extracción significativamente superiores a la recarga. Como resultado, el agotamiento de los acuíferos se está convirtiendo en algo cada vez más grave en zonas como la India, el oeste de los Estados Unidos, la llanura de China del norte, España, Irán, el Medio Oriente, el África septentrional, la costa del Perú y Chile y el Centro y Norte de México entre otros (OECD, 2015). Sin embargo, la regulación del bombeo del agua subterránea en estas áreas, que representan alrededor del 80 % de las aguas subterráneas del área regada mundial (FAO, 2005), resulta muy difícil. Esto a pesar y en parte por el hecho de que las aguas subterráneas son de crítica importancia para sus economías (OECD, 2015).

El papel de las aguas subterráneas en la agricultura regada se ha hecho cada vez más importante ya que los productores han adoptado su utilización a gran escala en el Asia meridional, el Oriente Medio y el Mediterráneo, China, América del Norte y, en menor medida, el África subsahariana y América del Sur (Scott y Shah, 2004, Shah et al., 2007). El uso de las aguas subterráneas ha transformado las economías rurales a través de la mejora y la diversificación en la productividad de los cultivos y la mejora significativa de los medios de subsistencia y la seguridad alimentaria de los hogares de millones de comunidades agrícolas y ganaderas (Kemper, 2007; Shah et al., 2007). Sin embargo, en muchas zonas de uso intensivo de aguas subterráneas, este 'auge de las aguas subterráneas' está empezando a colapsar, con consecuencias nefastas para los pobres y el medio ambiente (Hoogesteger y Wester, 2015). Esto es alarmante pues los efectos a medio y largo plazo de la explotación excesiva de agua son más significativos en el caso de las aguas subterráneas que en el de las superficiales. Una situación de bajo abastecimiento de agua superficial puede revertirse en apenas un año de alta precipitación y escorrentía, mientras que la reversión del déficit acumulado de años de agotamiento del acuífero tomará años o décadas.

La urgencia para generar mecanismos de gobernabilidad que habiliten una gestión socio-ambientalmente sostenible es enorme (Ostrom, 1990; Hoogesteger y Wester, 2015). Sin embargo, la gestión del agua subterránea ha recibido muy poca atención, tanto en las agendas políticas gubernamentales como en las luchas de la sociedad civil. Estas se centran sobre todo en las aguas superficiales, como en el caso del desecamiento de ríos y lagos, la contaminación de los ríos por actividades mineras, los flujos de aguas residuales de la industria y las ciudades,

y la construcción de grandes presas y transferencias entre cuencas, que son mucho más visibles y despiertan más fácilmente protestas y políticas públicas. Las aguas subterráneas son un recurso “horizontal”, lo que significa que “los agricultores [y otros usuarios] situados sobre un acuífero pueden cavar pozos de forma independiente sobre una extensión significativa” (Kemper, 2007: 156). En ausencia de una regulación específica —lo que ocurre en la mayoría de casos— esto conduce rápidamente a un acceso “libre para todos” de las aguas subterráneas, lo que hace muy difícil visualizar quién está causando su sobreexplotación. Esto se debe en parte al hecho de que su extracción y uso se hace con tecnologías dispersas sobre grandes extensiones territoriales y que el control sobre las (a veces miles de) bombas es privado.

En este artículo postulamos que el uso intensivo de las aguas subterráneas conduce tanto a formas abiertas como a formas difusas e invisibles de desposesión y concentración de acceso a las aguas subterráneas. La economía política de uso de las aguas subterráneas es un fuerte obstáculo a la reducción de la sobreexplotación de las aguas subterráneas, tanto a través de la autorregulación de usuarios como de la regulación estatal. También es un recurso que se resiste a un análisis sencillo de la concentración de los derechos de agua y la dinámica de la acumulación de los derechos, pues el acceso a las aguas subterráneas con frecuencia es libre para todos y está determinado en gran medida por la tecnología. Quien tiene las bombas más potentes y los pozos más profundos puede succionar agua impunemente, en detrimento de los demás. Como resultado, la injusticia en el acceso a las aguas subterráneas es pan de cada día y crece a diario.

DE LA ABUNDANCIA A LA DESPOSESIÓN Y LA POBREZA

El auge en el bombeo de aguas subterráneas en muchos países inicialmente creó mucho bienestar y efectos positivos en la reducción de la pobreza y la emancipación. Para el Asia meridional, Shah (2009: 92) sostiene que “la iniciativa no gubernamental más grande de riego del mundo [...], la economía de riego de aguas subterráneas del Asia meridional, ha sido una bendición que por mucho tiempo ha escondido los daños colaterales que produce. Una rápida expansión de esta forma de riego ha tenido un potente impacto ecualizador, estabilizador y mejorador de ingresos a una escala subcontinental”. Este autor argumenta que desde la década de 1970 el bombeo de aguas subterráneas en el sur del Asia ha beneficiado a 500 millones de personas, a través de los siguientes mecanismos:

- Algo para todos en lugar de todo para algunos, como en el riego con agua superficial.
- Un equilibrio regional en el desarrollo de riego, con riego que también llega a las áreas de secano.
- Una agricultura de monzón a prueba de sequías.
- Una creciente demanda de mano de obra durante todo el año; lo que favorece a los trabajadores sin tierra.

- Acceso al agua para agricultores marginales, con un fuerte sesgo hacia los pobres debido a su impacto en el aumento de la productividad de la tierra y la absorción de mano de obra.
- Diversificación de la agricultura, con producción de mayor valor (Shah, 2009).

Cuando se comienza a regar con aguas subterráneas, es decir, cuando los niveles de agua están todavía relativamente cerca de la superficie, se alcanza un espectacular crecimiento agrícola e impactos positivos reales en la reducción de la pobreza, tal como describen Burke y Moench (2000) y Shah (2009). Las bombas de pedal (*treadle pump* en inglés), los pozos poco profundos y las bombas de diésel baratas, combinadas con el bajo costo de las técnicas de perforación, hacen que, al inicio, las aguas subterráneas estén el alcance de los agricultores más pobres, hombres y mujeres, y esto puede llevar rápidamente a una duplicación o triplicación de sus ingresos anuales. Como las aguas subterráneas son un recurso distribuido y horizontal, esto hace que sea accesible a una amplia gama de personas con medios relativamente modestos, a diferencia de las inversiones ‘centralizadas’ e intensivas en capital de un canal de riego. Gracias a un extenso estudio bibliográfico, Shah et al. (2007: 411) concluyen que “especialmente en Asia, hay una evidencia abrumadora de que el auge de las aguas subterráneas ha demostrado una mayor equidad en el acceso al riego entre personas, clases y regiones y, por lo tanto, a los beneficios de la agricultura intensiva, en comparación con los grandes proyectos de riego que han creado oasis de prosperidad en las áreas de riego”.

Aparte de ser fácilmente accesibles, las aguas subterráneas tienen otras características que les hacen inicialmente un recurso mucho más eficaz para la lucha contra la pobreza y un desarrollo más equitativo que las aguas superficiales. Parafraseando a Shah et al (2007: 409), las aguas subterráneas están *disponibles en el sitio* y, por lo tanto, necesitan poca infraestructura de transporte, lo que conduce a una gestión descentralizada y a un desarrollo atomístico; tienen una capacidad de *almacenamiento* interanual que es altamente *segura* y a una fracción del costo de almacenamiento convencional de agua superficial; y son altamente *flexibles*, ofreciendo a los agricultores agua a demanda y a tiempo oportuno (si es que tienen acceso a electricidad o diésel). Sin embargo, estos beneficios se evaporan rápidamente una vez que los niveles del acuífero empiezan a caer por la sobreexplotación. Esto es cuando las aguas subterráneas dejan de ser una fuente de abundancia conllevando a procesos de desposesión y creciente pobreza (Shah, 2009; Hoogesteger, 2018).

Tras el auge inicial de las aguas subterráneas y el surgimiento de una economía agraria basada en las aguas subterráneas, se establece invariablemente una disminución de los niveles del acuífero. El ascenso y caída de la socioecología de las aguas subterráneas en el sur de Asia han sido estudiados a fondo por Tushaar Shah, quien identifica cuatro etapas en la transición de las aguas subterráneas de bienestar a las de malestar: (1) surgimiento de la revolución verde y de la tecnología de pozos profundos, (2) economía agraria basada en las aguas subterráneas, (3) primeros síntomas de sobreextracción de las aguas subterráneas, y (4) declinación de la socioecología de las aguas subterráneas con impactos alarmantes

(Shah et al., 2003). En las etapas 3 y 4 aumenta la injusticia relacionada con las aguas subterráneas, pues los que son demasiados pobres para cavar pozos profundos son empujados fuera de la producción. Prakash (2005) ha analizado la etapa 4 para el norte de Gujarat y ha mostrado cómo los niveles continuamente decrecientes del acuífero han conducido a una diferenciación social y a la transición de los agricultores más ricos hacia una vida urbana alejada de las explotaciones agrarias, quedando los pobres atrás para hacer frente a una decreciente base de recursos.

LA CARRERA DE FONDO Y EL PODER DEL CAPITAL

Como parte del cambio de la abundancia a la pobreza del agua subterránea, han aumentado el despojo directo y difuso y la concentración del acceso, aunque a menudo de manera invisible y difícil de controlar. Para comprender mejor los procesos de por qué el uso de las aguas subterráneas lleva al malestar y pobreza de algunos mientras que aquellos con capital mantienen islas de abundancia, en esta sección presentamos una tipología preliminar de los procesos y actores que llevan al despojo y la acumulación en el acceso a las aguas subterráneas.

La salida de los productores más pequeños. En acuíferos intensamente utilizados, una vez que los niveles de agua comienzan a descender, las norias y pozos poco profundos se secan. Por tanto, para seguir accediendo al agua, los usuarios tienen que reemplazar y/o profundizar sus pozos para alcanzar el menguante nivel freático. El reemplazo o profundización de los pozos es costoso sobre todo cuando los niveles bajan a tal nivel que las norias cavadas a mano ya no son una alternativa viable y se requiere de tecnologías especializadas para la instalación de pozos profundos. No solo se incrementan los costos de construcción, ya que los costos de bombeo concomitantes también aumentan.

Los primeros impactos del descenso en los niveles freáticos de acuíferos (entre 3 y 10 m bajo la superficie) son el desecamiento de las norias, las bombas de mano, las bombas de pedal, los pozos poco profundos, los manantiales y los humedales locales. Esto afecta negativamente a los medios de subsistencia de quienes no logran hacer la transición hacia los pozos profundos con bombas de alta capacidad, obligándolos a volver a la agricultura de temporal, o forzándolos a emigrar hacia los mercados de mano de obra rural o urbana, con lo que a menudo aumentan la pobreza, la migración y la marginación. Además de los impactos en los medios de subsistencia, el agotamiento del acuífero generalmente empobrece los servicios ecosistémicos asociados a la recarga básica de ríos, manantiales y humedales.

Cuando los niveles empiezan a descender por debajo de 30 a 40 m, muchos pequeños agricultores comienzan a perder su acceso al agua al no poder invertir en la profundización/reemplazo de sus pozos ni cubrir los crecientes costos de bombeo. El resultado es que pierden su acceso al agua y se salen de la carrera del bombeo hacia el fondo de los acuíferos. Este proceso se agrava cuando los niveles estáticos de los acuíferos descienden por debajo de

los 100 m. A estas profundidades sólo los agricultores más capitalizados pueden cubrir los costos de bombeo y la profundización o el cambio de posición de sus pozos. Este proceso depende fuertemente de la economía política de la producción agrícola. En aquellos países con sistemas de agricultura de pequeña propiedad que dependen de las aguas subterráneas, los agricultores más ricos desplazan comúnmente a los agricultores más pobres, pero en su mayoría no es algo intencional y se relaciona con la dinámica de un acervo común de recursos. Ejemplos de este proceso en el que los agricultores más pobres pierden su acceso al agua se encuentran en California (Blomquist, 1992), México (Hoogesteger, 2018), España (López-Gunn y Cortina, 2006), China (Kendy et al., 2003) y Gujarat (Prakash, 2005).

Grandes productores empresariales y la agro-industria globalizada. En áreas con agricultura industrial, tales como en Australia, Brasil, en centro y norte de México, Estados Unidos y la costa de Ecuador, Perú y Chile entre otros, la dinámica es diferente y las desposesiones de agua subterránea son más flagrantes. En muchos de estos países la producción con agua subterránea se ha relacionado estrechamente con la producción de cultivos de alto valor comercial, el capital y el control de grandes empresas de agro-exportación transnacionales. Para estas empresas y los inversionistas relacionados el incentivo para establecer un control firme sobre las aguas subterráneas es muy fuerte. Esto se hace a través del control sobre un gran número de pozos los cuales se utilizan clandestinamente o se legalizan adquiriendo permisos de bombeo legales a través de procedimientos administrativos no transparentes. Las empresas de procesado y exportación agroindustriales generalmente se asocian con grandes productores especializados a quienes las grandes ganancias sobre el capital les permiten cubrir los crecientes costos de bombeo. Esto contrasta muchas veces con los pequeños productores que no tienen el capital, el conocimiento y las escalas de producción necesarias para entrar a las cadenas de producción especializada de la agro-exportación. Esto resulta en que los pequeños dejen de producir, vendiendo sus tierras y aguas a los postores más altos; generalmente los grandes productores comerciales. Esto resulta en que las grandes empresas y los agricultores comerciales acumulen tenencia de tierra sobre los acuíferos por medio de la compra o alquiler a los pequeños productores. Algunos ejemplos de acumulación de tierras y aguas subterráneas son: la “acumulación por desposesión” en el acuífero de Torreón en el norte de México (Ahlers, 2005), la “acumulación por posesión de tierras” en las zonas costeras de producción de banano y caña de azúcar en el Ecuador (Gaybor, 2009) y la “acumulación por desarrollo de la tierra” por parte de las empresas de producción y exportación de hortalizas frescas a lo largo de la costa del Perú (van der Ploeg, 2006) entre otros.

Competencia entre usos agrícolas y otros sectores: La concentración de acceso a las aguas subterráneas en las etapas de 3 y 4 de la socioecología de aguas subterráneas de Shah se produce principalmente en la agricultura. Sin embargo, las extracciones de aguas subterráneas por parte de las megaciudades y sus industrias, tales como México, Dhaka, Bangkok y de Los

Ángeles —con frecuencia con el pleno apoyo de los gobiernos— crea marcados conos de depresión en los niveles de los acuíferos. En términos más generales, el bombeo para las ciudades, mineras e industrias desde acuíferos que ya están estresados conduce a aumentar los conflictos entre la agricultura y otros usos de agua. Esto se da puesto que a menudo los usuarios no agrícolas generalmente instalan pozos mucho más profundos y tienen el capital y tecnología para transportar las aguas subterráneas a grandes distancias de ser necesario (Díaz-Caravantes y Wilder, 2014; Tetreault y McCulligh, 2018). Así mismo, como el uso del agua doméstica con frecuencia y justa razón tiene prioridad sobre otros usos, las ciudades pueden, de manera relativamente fácil, formalizar sus derechos a grandes cantidades de agua subterránea, sin compensación para los otros usuarios del acuífero (Navarro-Navarro et al., 2017). Con el crecimiento de las poblaciones urbanas, las extracciones de aguas subterráneas para las ciudades y las industrias que en ellas se asientan y se abastecen del sistema de agua potable urbano probablemente aumentarán en el futuro.

La injusticia difusa (los colaterales): La disminución en los niveles de los acuíferos también puede tener efectos colaterales. En los acuíferos costeros, la sobreexplotación puede conducir a la intrusión salina, lo que a largo plazo transforma al acuífero en inútil. Los hundimientos de tierra son un fenómeno común en áreas de uso intensivo de aguas subterráneas y conducen a altos costos sociales debido a daños en las tuberías de drenaje, en viviendas y carreteras, y aumento de riesgo de inundaciones. La sobreexplotación también puede tener impactos muy graves sobre la calidad de las aguas subterráneas, como muestran los casos de arsénico en Bangladesh, Bengala occidental (Knappett et al., 2016) y los acuíferos de la Comarca Lagunera y el norte del estado de Guanajuato en México (Knappett et al., 2018). Estas formas de injusticia relacionados con las aguas subterráneas son muy difusas y afectan a amplios segmentos de la población. Señalar a un culpable es muy difícil, y los daños son en gran medida irreversibles a corto y mediano plazo.

HACIA UN MARCO DE ANÁLISIS PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Dentro de debates sobre la gestión del agua las siguientes preguntas son de gran interés: ¿Cuál es el estado del acceso y la concentración de acceso de agua en términos cuantitativos y cualitativos? ¿Cuáles son los mecanismos para la distribución del acceso al recurso entre grupos de usuarios y sectores, según las condiciones de clase, género y etnia? El acceso a las aguas subterráneas es en muchas regiones del mundo sobre todo una cuestión de tecnología, por lo tanto, la creación *de facto* de los derechos a las aguas subterráneas opera a través de la creación de propiedad hidráulica (Boelens y Vos, 2014) y propiedad de tierras individualizadas. Por tanto un enfoque sobre (la acumulación de) los derechos formales de aguas subterráneas puede inducir a errores. Más bien, es necesario un enfoque sobre los mecanismos de concentración de acceso a las aguas subterráneas. Esto plantea retos para la conceptualización y el estudio de la (in)justicia en las aguas subterráneas, y el modo en que

esto puede ayudar a la definición de políticas, programas y acciones para mejorar la equidad en el acceso a estas aguas. Abajo se proponen aproximaciones conceptuales para este estudio.

Para analizar las socioecologías de las aguas subterráneas y la concentración de acceso a las aguas subterráneas es necesario un marco conceptual en capas. Este marco puede visualizarse como una cebolla, con un núcleo que consta de los conceptos para estudiar las redes hidrosociales (Wester, 2008) que constituyen la socioecología de las aguas subterráneas, es decir, las configuraciones de tecnologías, seres humanos, aguas subterráneas y otros recursos productivos y materiales dentro de un territorio determinado (Boelens et al., 2016; Hommes et al., 2018; Hoogesteger et al., 2016). La capa que rodea este núcleo interno consta de la economía política de las cadenas de productos básicos (agrícolas e industriales), las políticas agrarias y de mercado, así como de las políticas de gestión de acuíferos. En el análisis de éstas últimas no solo es importante estudiar las políticas formales sino sobre todo como es que se implementan y transforman en el proceso de implementación a nivel local; lo que Hoogesteger (2018) ha denominado ‘la política de regulación’ (en inglés ‘*the politics of groundwater regulation*’). La capa exterior consta de los ámbitos y discursos en los que se desarrollan los dramas de injusticia relacionados con las aguas subterráneas. Aunque la metáfora que se utiliza aquí indica una representación multicapas de una realidad (imaginaria), estas capas están profundamente interconectadas y sirven como un referente a las múltiples dimensiones de las socioecologías de las aguas subterráneas.

Redes hidrosociales y control de las aguas subterráneas. Para el estudio de la justicia de las aguas subterráneas se necesita un fuerte énfasis en las tecnologías de las aguas subterráneas, puesto que la tecnología es un determinante fuerte del acceso a estas aguas. Para el análisis de las tecnologías de las aguas subterráneas se propone utilizar un enfoque sociotécnico para estudios interdisciplinarios de gestión de agua (cf. Bolding et al., 1995; Boelens et al., 2016). En este enfoque, las tecnologías de agua son vistas como una forma de mediación entre la sociedad y los recursos naturales, en la que lo social, lo técnico y lo material se analizan simultáneamente como dimensiones diferentes, pero internamente relacionadas del mismo objeto (Bolding et al., 2000). Siendo las tecnologías redes heterogéneas de elementos humanos y no humanos, también los vínculos entre estos elementos son objetos de estudio.

Las redes sociotécnicas que se constituyen alrededor del uso y gestión del agua de un río, cuenca o acuífero pueden denominarse redes hidrosociales (Wester, 2008; Hommes et al., 2018). Estas redes se forman intencional y recursivamente alrededor del agua y su uso, y son siempre emergentes y en proceso de formación al ser resultados precarios y reversibles de modos de ordenamiento. Bolding (2004) define dos características esenciales de las redes hidrosociales: amplitud y durabilidad. La amplitud se refiere al alcance espacial, social e institucional de una red hidrosocial, y puede ir desde una sola bomba de agua subterránea o un solo canal pequeño hasta toda la cuenca. Esto depende de la escala de análisis y de las asociaciones que se están analizando. La durabilidad se refiere a la fuerza de una red hidrosocial, a cuan fuertes y estables son las asociaciones entre los elementos heterogéneos

que forman la red de actores. También se refiere a la dimensión de tiempo de la red, a cuanto tiempo la red se mantiene como tal antes de desintegrarse. El actor crítico en las redes hidrosociales es el agua, pues sin agua la red literalmente se seca. Para el estudio de las aguas subterráneas, también es de vital importancia centrarse en la propiedad de la tierra y su uso, puesto que el acceso a las aguas subterráneas con frecuencia está vinculado a la propiedad de la tierra. Al estar el acceso a las aguas subterráneas tan fuertemente vinculado a la tecnología individualizada que crea una propiedad hidráulica individual, es necesario un enfoque sobre la tenencia de la tierra y el acceso a la tecnología e insumos (diésel y electricidad), en lugar de centrarse en los derechos de agua *per se*.

Análisis político económico de las cadenas productivas y las políticas de aguas subterráneas. Otra fuerza en el acceso a las aguas subterráneas, además de la tecnología y la propiedad de la tierra, es la economía política de las cadenas de los productos básicos y de las políticas de aguas subterráneas. Para ello es necesario analizar las configuraciones del mercado alrededor de determinados cultivos y los procesos políticos y las políticas que conforman el acceso a las aguas subterráneas y su administración. Destacan las siguientes áreas de estudio:

- 1) La economía política de las cadenas productivas (definidas como las relaciones de poder y de producción que estructuran la sociedad) y los vínculos entre los productores, las empresas agroindustriales y los mercados, tienen un fuerte impacto en la extracción de agua subterránea (Hoogesteger, 2017). Destacan las cadenas productivas de cultivos de alto valor, tales como frutas y verduras, pero también los vínculos entre, por ejemplo, alfalfa y lecherías. A través de los paquetes de producción y control de calidad proporcionados por las empresas agroindustriales y su acceso a los mercados, los agricultores comerciales pasan a formar parte de una agricultura globalizada.
- 2) Las políticas de desarrollo y regulación de aguas subterráneas que influyen en el acceso y el control sobre las aguas subterráneas, tales como subsidios de energía y tecnología (Hoogesteger y Wester, 2017). En la ausencia de políticas que permitan a los pobres acceder a las aguas subterráneas, sólo aquellos agentes con capital privado suficiente para invertir en tecnología podrán acceder a las aguas subterráneas, los que a su vez son quienes se harán más ricos mediante el acceso a los recursos. Las políticas agrícolas, como las subvenciones, los precios fijos y los mercados regulados o “libres” para productos agrícolas, determinan quien se beneficia y quien abandona la carrera (Hoogesteger, 2018).

Los ámbitos y los discursos de las aguas subterráneas. Definiremos un ámbito como un área en la que un individuo o grupo tiene control. Tanto la connotación espacial como el elemento de control contenidos en esta definición son importantes. Con base en Wester (2008), este documento define un ámbito de aguas subterráneas como algo que abarca un

área-problema y la gama de interesados e instituciones unidas por o vinculados a esa área-problema, que participan en las luchas, las negociaciones y a veces en las colaboraciones para gobernarla. La combinación de las palabras “problema” y “área” se utiliza tanto para connotar las dimensiones espaciales de un dominio como para indicar que algo está un juego. Esta definición se basa en el trabajo de Villarreal (1994: 59), quien define “ámbitos de interacción” como “áreas de la vida social en las que las prácticas están rutinariamente organizadas en configuraciones regionales específicas y a través de las cuales están reconocidas, se reproducen y se transforman ciertas autoridades, valores e identidades”. Discrepamos de su definición en que los ámbitos de agua no necesariamente están localizados de manera precisa en el tiempo y en el espacio, sino que son más generales. Dentro de un ámbito hay muchos escenarios, definidos aquí como localidades y lugares específicos donde actores con distintas percepciones, intereses y estrategias se juntan para interactuar, negociar, luchar y tomar decisiones relativas a un problema (cf. van Bueren et al., 2003).

Los discursos influyen con fuerza en lo que se considera justo y aceptable en las redes hidrosociales y en los ámbitos de las aguas subterráneas. Para la investigación de justicia de las aguas subterráneas esto plantea preguntas acerca de los conceptos y los discursos que se emplean cuando se debaten cuestiones de justicia y equidad... ¿qué es equitativo? ¿qué es justo? La búsqueda de cualquier acción en el manejo de las aguas subterráneas está informada por convicciones políticas e ideológicas específicas. Los organismos gubernamentales, las organizaciones no gubernamentales, los grupos de usuarios y la academia impulsan sus programas, políticas e intervenciones con fundamento en sus convicciones acerca de cómo funciona el mundo. Estas convicciones se crean por discursos que en el sector contemporáneo del agua (especialmente gobiernos y organizaciones no gubernamentales) dependen en gran medida de los discursos internacionales (como el del desarrollo sostenible y la gestión integrada de recursos hídricos) que se insertan como conceptos ‘nirvana’ (Molle, 2008). Estos discursos específicos pueden inspirar a los responsables de la toma de decisiones hacia nuevas acciones y esperanzas renovadas, y ofrecer oportunidades para la contestación al proporcionar bases comunes para la negociación. Sin embargo, según Molle (2008: 133), éstos enfrentan dos dificultades fundamentales: a) son fácilmente utilizados por grupos que intentan legitimar sus propios intereses o poner un velo frente a sus prácticas empresariales habituales; y b) pueden ocultar el carácter intrínsecamente político de la gestión del agua (Hoogesteger, 2017a).

Un componente importante de los ámbitos y los discursos de las aguas subterráneas es el de las luchas y las negociaciones relativas a las *reglas* de la gobernanza y las formas de regulación (*legitimidad de las autoridades*) de las aguas subterráneas. Para contrarrestar la concentración de acceso y mejorar la justicia en el acceso a las aguas subterráneas, es necesario algún tipo de regulación. Sin embargo, la investigación sobre la justicia de las aguas subterráneas necesita precisamente problematizar los entendimientos convencionales sobre regulación como establecimiento del orden, y necesita cuestionar si controlar la anarquía a

través de la regulación es siquiera deseable. Las siguientes ideas sobre la “regulación” de las aguas subterráneas proporcionan un punto de partida para investigaciones informadas sobre la justicia en las aguas subterráneas.

LA REGULACIÓN DEL USO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Está bien establecido que la regulación de las aguas subterráneas es muy difícil y que existen muy pocos ejemplos de regímenes de gestión sostenible de las aguas subterráneas en zonas de uso intensivo (Giordano, 2009; Varady et al., 2016). Esto plantea la pregunta de porqué la no-regulación de uso de las aguas subterráneas es tan generalizada y si hay algo característico de las aguas subterráneas que conduce invariablemente a su sobreexplotación. Las investigaciones han demostrado que es difícil regular las aguas subterráneas por diversas razones (Molle et al., 2018):

- Es un recurso invisible, lo que hace que sea difícil controlar quién está bombeando y cuanto para llegar a un conjunto de arreglos acerca de la reducción en las extracciones de agua subterránea; aunque avances en la teledetección han abierto nuevas vías para visualizar el consumo del agua subterránea en la agricultura (Sanz et al., 2016; Closas et al., 2017).
- El agua subterránea es extraída por un número alto de individuos que operan sus bombas distribuidas en amplias extensiones territoriales que son difíciles de monitorear.
- Las experiencias en todo el mundo muestran que los sistemas de permisos para regular el uso de las aguas subterráneas tienden fácilmente a la corrupción y que el establecimiento de derechos para las aguas subterráneas es incluso más difícil que para las superficiales (van Steenberg y Shah, 2003).
- Reducir la extracción de agua subterráneas es políticamente complicado ya que conlleva a la disminución de los beneficios económicos del uso actual de esas aguas (Sanz et al., 2018).

En suma, la actitud de misión hidráulica individualizada (Wester, 2009) característica del uso de las aguas subterráneas, es decir, “bombea todas las gotas que puedas y preocúpate después de las consecuencias”, en combinación con el fuerte velo económico puesto por los grandes bombeadores como industrias, ciudades y agricultores comerciales, milita contra el establecimiento de una gestión sustentable de las aguas subterráneas.

Un factor que complica la gestión de las aguas subterráneas es que es difícil organizar a los usuarios del acuífero y desarrollar el control social sobre las aguas subterráneas bombeadas (Wester et al., 2007; Wester et al., 2011; Aarnoudse et al., 2012; López-Gunn 2012). El carácter “invisible” e “individualizado” de las aguas subterráneas hace difícil determinar quien está bombeando cuanto y supervisar las reducciones en extracciones. En contraste con los sistemas de riego superficial, donde los usuarios del agua deben colaborar para

garantizar el suministro de agua, quienes bombean funcionan de forma relativamente independiente unos de otros. Es solo después de períodos prolongados de bombeo que se vuelven relevantes tanto el resultado de las acciones combinadas en la sobreexplotación de las aguas subterráneas, como la necesidad de desarrollar la gobernanza del acuífero. Pero incluso si se constituye una estructura fuerte para la gobernanza del acuífero y si hay acuerdo sobre las reducciones en extracciones de agua subterránea, la estabilización de un acuífero tarda mucho y los usuarios no ven la recompensa rápidamente tras las restricciones. Ante la falta de una “identidad hidrológica” común que enlace a los usuarios frente a objetivos comunes e intereses compartidos, como es el caso en la mayoría de los sistemas de riego de agua superficial, el incentivo para que los usuarios del acuífero colaboren es limitada, lo que complica la autorregulación de los acuíferos por parte de los usuarios de estas aguas.

Estas características de las aguas subterráneas parecen indicar que la gestión eficaz de las aguas subterráneas requiere de un control centralizado a través de una agencia del gobierno. La alternativa, se asume, sería el caos. Sin embargo, el papel del Estado en la creación de la sobreexplotación de las aguas subterráneas se suele pasar por alto con frecuencia. Las ciudades, las industrias y la agricultura comercial dependen fuertemente de los aumentos en el uso de las aguas subterráneas para su crecimiento continuo, y en muchos países siguen siendo firmemente apoyadas por las políticas del gobierno para lograr este objetivo. Por lo tanto, si los organismos gubernamentales pretenden que se reduzcan las extracciones de agua subterránea, lo que necesitan es hacer frente a la economía política de uso de las aguas subterráneas (Hoogesteger, 2018).

La gestión colectiva de las aguas subterráneas por parte de los usuarios del agua —la autorregulación o la gobernanza a escala local— es cada vez más recomendada como una alternativa o complemento a la regulación estatal (Steenbergen y Shah, 2003; López-Gunn y Cortina, 2006; Steenbergen, 2006; Schlager, 2007). Recientemente, el Banco Mundial ha recomendado marcos para promover el desarrollo de organizaciones de gestión de acuíferos como un componente integral de la GIRH (World Bank GW-MATE, 2006a,b). Sin embargo, dentro de estas directrices no se aborda explícitamente la cuestión de que competencias debe tener la organización de gestión frente a organizaciones de alto nivel a escala de cuenca y frente a los organismos gubernamentales, a la par que los procesos políticos de interacción entre los organismos de agua nacionales y las emergentes organizaciones a nivel de acuífero son ocultadas. Si bien la experiencia mexicana con los consejos de administración de acuíferos informó fuertemente a las recomendaciones del Banco Mundial sobre la gobernanza de las aguas subterráneas (Foster et al., 2004), un análisis profundo de las cuestiones y luchas políticas e institucionales experimentadas muestra las dificultades y los desafíos que existen, tanto para el Estado como los usuarios, en la formación de organizaciones fuertes de usuarios de aguas subterráneas (Wester et al., 2009). Razones para la no-regulación de las aguas subterráneas que se destacan son: a) las políticas administrativas en las cuales las luchas entre las diferentes agencias gubernamentales obstruyen los esfuerzos por reducir el uso de las

aguas subterráneas; b) el apoyo político para el crecimiento continuado del sector agrícola, industrial y minero como herramienta para el desarrollo económico; y c) el fuerte lobby de estos sectores económicamente poderosos así como del campesinado que dependen de este recurso.

CONCLUSIONES

Las dimensiones de la justicia hídrica en relación con la sobreexplotación de las aguas subterráneas plantean desafíos muy serios, tanto para la investigación como para la formulación de políticas e intervenciones. No hay recetas sencillas para la acción de la sociedad civil o la lucha para mejorar la equidad en el acceso a las aguas subterráneas, especialmente si la distribución de tierras y aguas subterráneas a través de mecanismos de mercado y la propiedad privadas sigan predominando.

En la mayoría de los países, los intentos por regular las aguas subterráneas, ya sea a través del control del Estado o la autorregulación de los usuarios, no han dado como resultado reducciones en las extracciones de agua subterránea. En casi todas las áreas de uso intensivo de las aguas subterráneas los usuarios continúan controlando sus bombas casi sin restricciones; los gobiernos siguen suministrando electricidad barata a la agricultura y las hidrocracias buscan activamente rentas por medio de la legalización de las bombas ilegales.

Además los esfuerzos de las organizaciones administrativas estatales para hacer cumplir los reglamentos existentes y detener la perforación de nuevos pozos son insuficientes. Sugerimos que estas estrategias permanecen y son más fuertes que los intentos de reducir el uso de las aguas subterráneas porque refuerzan dos preocupaciones centrales del Estado: la acumulación (aumento de ingresos a través de la agricultura de exportación y la industrialización) y la legitimidad (la provisión de subsidios a la producción de agricultores potencialmente indisciplinados y al agua doméstica para grupos de votantes poderosos).

Por lo tanto, los intentos de reducir la sobreexplotación de las aguas subterráneas en la mayoría de los países se ven obstaculizados por la economía política de uso de las aguas subterráneas. Es más, la mayoría de los programas encaminados a reducir la demanda de agua subterránea, es decir, el precio de la electricidad, la autorregulación de los usuarios y los programas de modernización del riego, han sido torcidos por los usuarios agrícolas para satisfacer sus propios intereses, esto es, para mantener y hacer más rentable la agricultura de las aguas subterráneas. El resultado es el carácter de “cara de Jano” de las políticas de aguas subterráneas: mientras por un lado el Estado puede legitimar sus esfuerzos para reducir el uso de las aguas subterráneas señalando sus políticas, por otro lado la ineficacia interna de estas políticas no dañan los intereses de los poderosos bombeadores tales como la agricultura comercial, las industrias y las ciudades.

Los acuíferos en muchos países siguen siendo sobreexplotados mientras la mayoría de los actores involucrados en la gestión de las aguas subterráneas tiene interés en que la situación

se mantenga como está. Mientras no exista presión de bombeadores poderosos para restringir las extracciones de agua subterránea, será difícil que el Estado concrete iniciativas que realmente afecten a los bombeadores.

Los arreglos institucionales para la gestión de las aguas subterráneas consisten en una red de regulación estatal, fuerzas del mercado y usuarios individuales de aguas subterráneas. Reajustar esta red para lograr extracciones de agua subterránea sostenible y para mejorar la justicia de las aguas subterráneas es muy difícil debido a la economía política de uso de las aguas subterráneas. Si bien es evidente que en algún momento las partes interesadas tendrán que afrontar el hecho de que las extracciones de aguas subterráneas deben disminuir, la opción preferida hasta la fecha ha sido la continua sobreexplotación de las aguas subterráneas.

Los primeros en ser afectados son los agricultores más pobres y los asentamientos rurales, pues no pueden darse el lujo de profundizar o cambiar la posición de sus pozos. La mejora de la justicia hídrica subterránea requerirá una combinación de enfoques regulatorios y participativos, junto con cambios en el comportamiento de la demanda de los usuarios del agua.

El fracaso de la mayoría de los esfuerzos para reducir el bombeo de agua subterránea a través de la regulación estatal, la participación de usuarios y mecanismos de mercado es poco alentador (ver para notables excepciones Aarnoudse et al., 2012: un acuífero en la provincia de Minquin, China; y Sanz et al., 2012 y Closas et al., 2017 sobre el acuífero de la Mancha en España. En la práctica, es necesario un enfoque pragmático que reconozca explícitamente tanto la naturaleza política de la gestión, como las complejidades de los desafíos relacionados con las aguas subterráneas. Esto sin dejar de tener un enfoque centrado en abordar los problemas específicos de sustentabilidad y equidad en los acuíferos.

Es urgente cuestionarse si la agricultura, como usuario primordial y mayoritario del agua subterránea en casi todo el mundo, debe de seguir accediendo casi sin restricción al agua. Reducir el uso de agua subterránea en este sector debería ser prioritario en acuíferos sobreexplotados. Sin embargo, mientras el lobby agroindustrial siga siendo tan grande no se pueden esperar grandes cambios. Por tanto, mientras esta situación no cambie, la esperanza radica en la capacidad de adaptación de la sociedad en general para absorber a quienes están siendo despojados y de frenar los mecanismos de acumulación de recursos que están poniendo la mayoría del agua subterránea en manos de pocos, que son, por lo general, los agricultores ricos y comerciales, el capital industrial y las grandes ciudades.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al equipo editorial y los revisores por sus útiles comentarios. Parte de este estudio fue financiado por la Organización Neerlandesa para la Investigación Científica (The Netherlands Organization for Scientific Research, NWO), proyecto W01.70.100.007. El diseño, ejecución y publicación es la iniciativa y responsabilidad de los autores.

REFERENCIAS

- AARNOUDSE, E., BLUEMLING, B., WESTER, P. y QU, W. (2012): The role of collective groundwater institutions in the implementation of direct groundwater regulation measures in Minqin County, China. *Hydrogeology Journal*, 20(7), 1213-1221.
- BLOMQUIST, W. (1992): *Dividing the Waters. Governing Groundwater in Southern California*. ICS Press, San Francisco.
- BOELENS, R. (2008): The rules of the game and the game of the rules: Normalization and resistance in Andean water control. Tesis de PhD, Wageningen University, Wageningen, Países Bajos.
- BOELENS, R., HOOGESTEGER, J., SWYNGEDOUW, E., VOS, J. y WESTER, P. (2016): Hydrosocial territories: a political ecology perspective. *Water International*, 41(1), 1-14.
- BOELENS, R. y VOS, J. (2014): Legal pluralism, hydraulic property creation and sustainability: The materialized nature of water rights in user-managed systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 11, 55-62.
- BOLDING, A. (2004): *In Hot Water. A Study on Sociotechnical Intervention Models and Practices of Water Use in Smallholder Agriculture, Nyanyadzi Catchment, Zimbabwe*. (Ph.D. dissertation) Wageningen University, The Netherlands.
- BOLDING, A, MOLLINGA, P.P. y VAN STRAATEN, K. (1995): Modules of modernisation. Colonial irrigation in India and the technological dimension of agrarian change. *Journal of Development Studies*, 31(6), 805-844.
- BOLDING, A., MOLLINGA, P.P. y ZWARTEVEEN, M.Z. (2000): Interdisciplinarity in research on integrated water resources management: pitfalls and challenges. Paper presented at the UNESCO-WOTRO international working conference on 'Water for society', 8-10 de noviembre de 2000, Delft.
- BUEREN, E.M. VAN, KLIJN, E.-H. y KOPPENJAN, J.F.M. (2003): Dealing with wicked problems in networks: Analyzing an environmental debate from a network perspective. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 13(2), 193-212.
- BURKE, J. y MOENCH, M. (2000): *Groundwater and Society: Resources, Tensions and Opportunities*. United Nations, Nueva York.
- CLOSAS, A.; MOLLE, F. y HERNÁNDEZ-MORA, N. (2017): Sticks and carrots to manage groundwater over-abstraction in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, 194, 113-124.
- DÍAZ-CARAVANTES, R.E. y WILDER, M. (2014): Water, cities and periurban communities: Geographies of power in the context of drought in northwest Mexico. *Water Alternatives*, 7(3), 499-417.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2005. AQUASTAT database [www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/index.stm].
- FOSTER, S., GARDUÑO, H. y 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 D.C., available at www.worldbank.org/gwmate.

- GAYBOR, A. (2009): *El despojo del agua y la necesidad de transformación urgente*. 3ra. ed. Foro de los Recursos Hídricos, Quito.
- GIORDANO M. (2009): Global Groundwater? Issues and Solutions. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 153-178.
- HARVEY, D. (2003): *The new imperialism*. OUP Oxford.
- HOMMES, L, BOELENS, R., DUARTE ABADÍA, B., HIDALGO, J.P., y HOOGESTEGER, J. (2018): Reconfiguration of Hydrosocial Territories and Struggles for Water Justice. In *Water Justice* (pp. 151-168). Cambridge University Press.
- HOOGESTEGER, J. (2017): An elite technology? Drip irrigation, agro-export and agricultural policies in Guanajuato, Mexico. En VENOT, J.P.; KUPER, M. y ZWARTEVEEN, M. (Eds.): *Drip irrigation for agriculture: Untold stories of efficiency, innovation and development*, pp. 151-166. Routledge, London and New York.
- HOOGESTEGER, J. (2017a): The politics of water democracy: Insights from grassroot struggles in the Ecuadorian Highlands. *Asia Pacific Viewpoint*, 58(1), 74-85.
- HOOGESTEGER, J. (2018): The ostrich politics of groundwater development and neoliberal regulation in Mexico. *Water Alternatives*, 11(3), 552-571.
- HOOGESTEGER, J., BOELENS, R. y BAUD, M. (2016): Territorial pluralism: water users' multi-scalar struggles against state ordering in Ecuador's highlands. *Water International*, 41(1), 91-106.
- HOOGESTEGER, J. y WESTER, P. (2015): Intensive groundwater use and (in)equity: Processes and governance challenges. *Environmental Science and Policy* 51: 117-124.
- HOOGESTEGER, J. y WESTER, P. (2017): Regulating groundwater use: The challenges of policy implementation in Guanajuato, Central Mexico. *Environmental Science & Policy*, 77, 107-113.
- JONES, J.A.A. (1997): *Global Hydrology: Processes, Resources and Environmental Management*. Harlow, Essex, GB: Addison Wesley Longman.
- KEMPER, K.E. (2007): Instruments and Institutions for Groundwater Management. In Giordano, M. y Villholth, K.G. (eds.), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*. (pp. 153-172). CAB International, Wallingford, GB.
- KENDY, E., MOLDEN, D.J., STEENHUIS, T.S., LIU, C.M. y WANG, J. (2003): *Policies Drain the North China Plain: Agricultural Policy and Groundwater Depletion in Luancheng County, 1949-2000*. Research Report 71. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- KNAPPETT, P.S.K., MAILLOUX, B.J., CHOUDHURY, I., KHAN, M.R., MICHAEL, H.A., BARUA, S., MONDAL, D.R., STECKLER, M.S., AKHTER, S.H., AHMED, K.M., BOSTICK, B., HARVEY, C.F., SHAMSUDDUHA, M., SHUAI, P., MIHAJLOV, I., MOZUMDER, R. y VAN GEEN, A. (2016): Vulnerability of low-arsenic aquifers to municipal pumping in Bangladesh. *Journal of Hydrology*, 539, 674-686.
- KNAPPETT, P. S. K., LI, Y., HERNANDEZ, H., RODRIGUEZ, R., AVILES, M., DENG, C., PIÑA, V., GIARDINO, J. R., MAHLKNECHT, J. y DATTA, S. (2018): Changing recharge pathways within an intensively pumped aquifer with high fluoride concentrations in Central Mexico. *Science of the Total Environment*, 622-623, 1029-1045.
- LÓPEZ-GUNN, E. (2012): Groundwater governance and social capital. *Geoforum*, 43(6), 1140-1151.

- LOPEZ-GUNN, E. y CORTINA, L.M. (2006): Is Self-Regulation a Myth? Case Study on Spanish Groundwater User Associations and the Role of Higher-Level Institutions. *Hydrogeology Journal*, 14(x), 361-379.
- MOLLE, F. (2008): Nirvana concepts, narratives and policy models: Insights from the water sector. *Water Alternatives*, 1(1), 131-156.
- MOLLE, F., LÓPEZ-GUNN, E. y VAN STEENBERGEN, F. (2018): The local and national politics of groundwater overexploitation. *Water Alternatives*, 11(3), 445-457.
- NAVARRO-NAVARRO, L. A., MORENO-VAZQUEZ, J. L. y SCOTT, C. A. (2017): Social networks for management of water scarcity: evidence from the San Miguel Watershed, Sonora, Mexico. *Water Alternatives* 10(1): 41.
- OKI, T. y KANAE, S. (2006): Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313, 1068-1072.
- PLOEG, J.D. VAN DER. (2006): *El Futuro Robado: Tierra, Agua y Lucha Campesina*. IEP, Lima.
- PRAKASH, A. (2005): *The Dark Zone: Groundwater Irrigation, Politics and Social Power in North Gujarat*. Orient Longman, Hyderabad, India.
- SANZ, D., CALERA, A., CASTAÑO, S. y GÓMEZ-ALDAY, J. J. (2016): Knowledge, participation and transparency in groundwater management. *Water Policy* 18(1): 111-125.
- SANZ, D., VOS, J., RAMBAGS, F., HOOGESTEGER, J., CASSIRAGA, E., y GÓMEZ-ALDAY, J. J. (2018): The social construction and consequences of groundwater modelling: insight from the Mancha Oriental aquifer, Spain. *International Journal of Water Resources Development*, 1-22.
- SCOTT, C.A. y SHAH, T. (2004): Groundwater overdraft reduction through agricultural energy policy: Insights from India and Mexico. *International Journal of Water Resources Development*, 20(2), 149-164.
- SCHLAGER, E. (2007): Community Management of Groundwater. In: GIORDANO, M. y VILLHOLTH, K.G. (eds.): *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development* (pp. XX-XX). CAB International, Wallingford, GB.
- SHAH, T. (2009): *Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia*. Resources for the Future and IWMI, Washington, DC and Colombo.
- SHAH, T., DEB ROY, A., QURESHI, A. y WANG, J. (2003): Sustaining Asia's groundwater boom: An overview of issues and evidence. *Natural Resources Forum*, 27(x), 130-141.
- SHAH, T., BURKE, J. y VILLHOLTH, K.G. (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). International Water Management Institute, Londres, Earthscan, y Colombo.
- STEENBERGEN, F. VAN y SHAH, T. (2003): Rules Rather than Rights: Self-regulation in Intensively Used Groundwater Systems. In: LLAMAS, M. y CUSTODIO, E. (Eds.): *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*. Swets and Zeitlinger, Lisse, Países Bajos. Chapter 12.
- STEENBERGEN, F. VAN. (2006): Promoting local management in groundwater. *Hydrogeology Journal*, 14(3), 380-391.

- TETREAUULT, D. y McCULLIGH, C. (2018): Water grabbing via institutional corruption in Zacatecas, Mexico. *Water Alternatives*, 11(3), 572-591.
- OSTROM, E. (1990): *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VARADY, R. G., ZUNIGA-TERAN, A. A., GERLAK, A. K. y MEGDAL, S. B. (2016): Modes and approaches of groundwater governance: A survey of lessons learned from selected cases across the globe. *Water* 8(10): 417; <https://doi.org/10.3390/w8100417>.
- VILLARREAL, M. (1994): *Wielding and Yielding: Power, Subordination and Gender Identity in the Context of a Mexican Development Project*. Tesis de Ph.D., Wageningen Agricultural University, Wageningen, Países Bajos.
- WESTER, P. (2008): *Shedding the Waters: Institutional Change and Water Control in the Lerma-Chapala Basin, Mexico*. Tesis de Ph.D., Wageningen University, Wageningen, Países Bajos.
- WESTER, P. (2009): Capturing the Waters: The Hydraulic Mission in the Lerma-Chapala Basin, Mexico (1876-1976). *Water History* 1(1), 9-29.
- WESTER, P.; HOOGESTEGE, J. y PATERS, H. (2007): Multi-stakeholder platforms for surface and groundwater management in the Lerma-Chapala Basin, Mexico. En WARNER, J. (Ed.): *Multi-stakeholder platforms for integrated water management*, pp. 151-164. Ashgate, Hampshire and Burlington.
- WESTER, P. HOOGESTEGE, J. y VINCENT, L. (2009): Local IWRM Organizations for Groundwater Regulation: The Experiences of the Aquifer Management Councils (COTAS) in Guanajuato, Mexico. *Natural Resources Forum*, 33(1), 29-38.
- WESTER, P.; SANDOVAL-MINERO, R. y HOOGESTEGE, J. (2011): Assessment of the development of aquifer management councils (COTAS) for sustainable groundwater management in Guanajuato, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 19(4), 889-899.
- WORLD BANK GW-MATE (2006a): *Stakeholder participation in groundwater management: mobilizing and sustaining aquifer management organizations*. Sustainable Groundwater Management Concepts and Tools Briefing Note Series, Note 6, Washington D.C. Available at www.worldbank.org/gwmate
- WORLD BANK GW-MATE (2006b) *Groundwater dimensions of national water resource and river basin planning*. Sustainable Groundwater Management Concepts and Tools Briefing Note Series, Note 10, Washington D.C. Available at www.worldbank.org/gwmate.

Cómo citar este artículo:

Hoogesteger J. y Wester P. (2018). Gestión del agua subterránea de uso agrícola: Los retos de la sostenibilidad socio-ambiental y la equidad. *Cuadernos de Geografía*, 101, 51-70. <https://doi.org/10.7203/CGUV.101.13720>



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

