

La tecnología en el uso sostenible del agua para riego en México. El caso del acuífero de Tecamachalco, Puebla, 2017

Mario Miguel Carrillo-Huerta*

Enrique Gómez Bretón**

(Recibido: abril 2019/Aceptado: septiembre 2019)

Resumen

En 2012, 170 de los 653 acuíferos de México estaban en condiciones deficitarias y cinco, incluido el de Tecamachalco, habían sido declarados en peligro de extinción, afectando la sostenibilidad del desarrollo de la región. Este trabajo reporta los resultados de un estudio de campo realizado en 2016-2017 entre 121 productores agrícolas de esa zona con el objeto de evaluar cómo el mercado, las políticas del gobierno y la acción de los usuarios contribuían o no a la sostenibilidad del acuífero. Se muestra aquí que los usuarios y el gobierno influyen más porque los primeros usan tecnología adecuada en el riego, y ésta es parte de la asistencia técnica que incluye la política pública de administración del agua en México.

Palabras clave: políticas públicas, desarrollo sostenible, acuíferos, tecnología de riego, administración del agua.

Clasificación JEL: C52, D13, I38, Q10.

*Profesor-investigador del Instituto de Ciencias de Gobierno y Desarrollo Estratégico de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. Cúmulo de Virgo, s/n, acceso 4. Complejo Cultural Universitario. Puebla, Puebla, México. Miembro del Cuerpo Académico 295, Gestión y Desarrollo. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel III. <mmch@prodigy.net.mx>.

**Doctor en Ciencias de Gobierno y Política por el Instituto de Ciencias de Gobierno y Desarrollo Estratégico de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. Cúmulo de Virgo, s/n, Acceso 4. Complejo Cultural Universitario. Puebla, Puebla, México. <egomezbreton@hotmail.com>.

Technology in the sustainable use of water for irrigation in Mexico. The case of the aquifer of Tecamachalco, Puebla, 2017

Abstract

By 2012, around 170 of the 653 aquifers existing in Mexico were being overexploited, and five of those had been declared on the verge of extinction, thus jeopardizing the sustainability of their regions' development. This paper reports the results of a field study, realized in 2016-2017 among 121 agricultural producers of the area of influence of the Tecamachalco Aquifer, which is one of the five ones facing possible extinction, with the objective of ascertaining the extent to which market forces, public policies and the users' practices contribute (or not) to the sustainability of the Aquifer. It is shown that the users and the government contribute more to that effect as the former use irrigation water-saving technologies, included as part of the assistance packages offered through the public administration's water policies of Mexico.

Key words: public policies, sustainable development, aquifers, irrigation technologies, water administration.

JEL classification: C52, D13, I38, Q10.

1. Introducción

La importancia del agua para la sociedad es reconocida a nivel mundial (EUWI, 2012; OCDE, 2016). En México, la provisión de agua dulce puede ser considerada como un asunto de seguridad nacional.¹ Así, desde hace tiempo el uso del agua en México está a cargo de una instancia pública (la Comisión Nacional del Agua, CNA), que se sustenta en un basamento jurídico amplio para regular el uso y aprovechamiento del recurso (CNA, 2015).

¹ La Asociación Global del Agua (GWP, por sus siglas en inglés) uno de los grupos que impulsan la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, clasifica en tres grandes áreas la cuestión de seguridad: 1. Disponibilidad de Agua. 2. Disminución de riesgos ambientales (inundaciones, sequías contaminación) y 3. Conflictos generados por aguas compartidas. Esta investigación se ubica en la primera clasificación (Global Water Partnership, 2013). En México, como consecuencia de la deficiente gestión del agua, Martínez-Austria (2013) propone reformar la ley en conformidad con la clasificación de GWP con el propósito de alcanzar la seguridad hídrica.

Sin embargo, la información disponible sugiere que el uso del agua en México no corresponde a su importancia ya que, por lo menos en el caso del agua del subsuelo, no apunta hacia la sustentabilidad al existir una tendencia hacia el agotamiento de una proporción importante de los acuíferos del país, donde la extracción supera a la recarga. Por otro lado, los indicadores al nivel nacional advierten que el uso agrícola, el urbano y el industrial consumen respectivamente el 77%, 14% y 9% del agua subterránea, y estudios recientes señalan que el empleo del agua en el uso agrícola es sumamente deficiente, ya que 54% del agua que se utiliza para riego no se aprovecha, significando a su vez pérdidas cuantiosas en los recursos invertidos para extraer el líquido.

Tradicionalmente, el problema del agua había sido atendido poniendo énfasis en el aumento de su oferta. Sin embargo, su manejo ha descansado recientemente en un enfoque conocido como gestión integral de los recursos hídricos, que pone énfasis en la regulación de la demanda, como medio para alcanzar un uso sostenible del líquido. Este enfoque opera sobre cuatro principios: 1) el agua es un recurso finito y vulnerable; 2) su manejo es más eficaz cuando se organiza por cuencas; 3) se requiere de la participación de los individuos que la utilizan y 4) el agua tiene valor económico y por tanto debe sujetarse a las leyes de mercado (IMTA, 2009).

En este trabajo se muestran los resultados de una investigación realizada entre 2016 y 2017 con el objetivo central de identificar la importancia que tienen algunos factores en el uso del agua subterránea por parte de los productores agrícolas de la región del acuífero de Tecamachalco en el estado de Puebla.

Con la ayuda de un modelo econométrico, aplicado a la información proveniente de una encuesta levantada entre 121 productores agrícolas usuarios de esa agua, aquí se muestra que la aplicación de tecnología moderna en el riego es el factor más importante en el uso sostenible del recurso, influida por la asociación de los productores.

El trabajo consta de siete secciones y un apéndice. En la segunda sección, se ofrecen algunos comentarios sobre la teoría del uso sostenible de recursos naturales renovables como el agua, y sobre la teoría de la adopción de tecnología nueva por parte de agentes económicos. En la sección siguiente se describe el marco general de referencia del manejo y uso del agua en el que se inserta México, con intervención directa del Estado, así como las características de la problemática de la zona de estudio y de los usuarios del

agua del acuífero. Enseguida se presenta la metodología aplicada en el ejercicio. Luego se presentan los resultados y después se ofrecen algunos comentarios generales, para finalmente presentar algunas conclusiones. En el apéndice se muestra el cálculo del tamaño de la muestra para la encuesta.

2. El marco teórico conceptual

2.1. Sostenibilidad y recursos naturales

Recursos naturales y medio ambiente son dos temas de interés de la comunidad científica, de defensores sociales, promotores y otros ambientalistas. En teoría, la economía de los recursos naturales es “la disciplina que se dedica al estudio de la asignación de los recursos naturales entre la sociedad actual y sus generaciones”. A su vez, se define a la economía ambiental como “el campo que estudia la capacidad de absorción que tiene el medio ambiente para procesar residuos y desperdicios, así como de los costos ambientales de las actividades económicas” (Conrad, 1999).

De hecho, se ha aceptado que los problemas de sostenibilidad provienen de incongruencias (o falta de concordancia) espaciales, funcionales y temporales de escala entre la responsabilidad humana y las interacciones naturales (Lee, 1993). Espaciales, como la contaminación a tasas en exceso de la capacidad asimiladora de la naturaleza; funcionales, como el desperdicio de recursos (agua, por ejemplo) y temporales, como el de la explotación de recursos renovables a tasas superiores a la capacidad regeneradora de la naturaleza (sobreexplotación).

Así, los principios de sustentabilidad se aplican por lo tanto de diferente manera, dependiendo del tipo de incongruencia y del tipo de recursos. En el caso de los recursos renovables, el principio de sustentabilidad es que las tasas de explotación deben ser iguales a las tasas de regeneración. En el caso de la contaminación, que las tasas de emisión de desechos sean iguales a las capacidades asimiladoras naturales de los ecosistemas que los reciben. En el caso de los recursos no renovables, su tasa de agotamiento deberá ser igual a una tasa comparable de creación de sustitutos renovables (Daly, 1990).

Por ello, la cuestión más importante en los intentos por lograr la sostenibilidad de los recursos como el agua, es determinar la cantidad óptima de un determinado recurso a extraer para que, en el caso de los recursos

naturales renovables, mantenga una vida infinita, o en el caso de los recursos no renovables, puedan ser asignados de la mejor manera a diferentes generaciones, hasta que éstos sean totalmente agotados o aparezca una tecnología (backstop technology) que permita producir sus substitutos a costos adecuados (IMTA, 2009).

Puede decirse que la brecha que separa a los recursos renovables de los no renovables se determina por el grado de su consumo. Un recurso renovable puede convertirse en un recurso agotable si su tasa de extracción es lo suficientemente grande, de tal manera que el consumo de dicho recurso supera al volumen de reposición.

La teoría de los recursos naturales, y en especial la de los recursos naturales renovables, establece que su producción puede ser descrita de la siguiente manera: considérese el acervo de agua que existe en un determinado acuífero, el cual se representa, al inicio del periodo t , como X_t , medido en hectómetros cúbicos. En cada periodo, el nivel del crecimiento neto depende del volumen de agua, representado por la función $F(X_t)$, crecimiento que está limitado por la capacidad natural del yacimiento K . Por lo tanto, si $K \geq X_t \geq 0$, entonces $F(X_t)$ crecería como X_t crece de un nivel mínimo hasta que $F(X_t)$ alcanza un rendimiento máximo sostenible (RMS) en X_{RMS} . A partir de ahí, $F(X_t)$ decrece a medida que X_t va de X_{RMS} a K . Luego, si Y_t representa la tasa de extracción, medida también en hectómetros cúbicos y si la recarga ocurre antes de la extracción, entonces el cambio en el acervo del acuífero que ocurre en el periodo de t a $t+1$ es la diferencia entre $X_{t+1} - X_t$ y se da por la ecuación diferencial.

$$X_{t+1} - X_t = F(X_t) - Y_t \quad (1)$$

Así, cuando la extracción excede al crecimiento neto, $Y_t > F(X_t)$, el acervo de agua del acuífero declina y tiende al agotamiento. En caso contrario, si $Y_t < F(X_t)$, el acervo de agua del acuífero crece (Conrad, 1999). Puede decirse entonces que, independientemente de la tendencia o no al agotamiento de los recursos, su uso eficiente ayuda a su orientación a la sostenibilidad. En el caso del agua destinada a la producción agrícola en la forma de riego, la sostenibilidad es más fácilmente alcanzable cuando se usan técnicas modernas que aseguran su uso eficiente.

3. Adopción de tecnología nueva

Se define como adopción a un proceso de integración de decisiones para, finalmente, aceptar un avance tecnológico que resuelve un problema determinado o satisface una necesidad. Según Rogers (1995), la adopción es un proceso mental en etapas por el que pasa un individuo desde que tiene conocimiento por primera vez de la existencia de una innovación hasta que toma la decisión final de adoptarla. Para Savale (1966), dicho proceso varía de comunidad a comunidad, pero en general incluye las etapas siguientes: *a)* la etapa de iniciación (la obtención del conocimiento inicial sobre la nueva idea o práctica; *b)* la etapa de interés (obtención de ideas e información conducentes a la aceptación de la práctica como una cosa buena para la mayoría de las empresas); *c)* la etapa de decisión (decir que la práctica es valiosa para la empresa propia); *d)* la etapa de ensayo (adopción de la práctica sobre una base experimental en la empresa propia); y *e)* la etapa de adopción (adopción de la práctica sobre una base permanente).

Desde el punto de vista de la actividad económica, al nivel micro, un productor que busque maximizar sus ganancias adoptará o no una innovación, si ésta reduce o no los costos, pero su decisión puede estar influida, además, por otros factores, incluida la sofisticación de la innovación (Carrillo, 2008, p. 54). Por otro lado, al nivel macro de las tecnologías agropecuarias, la tasa de adopción suele identificarse como la extensión en la cual una nueva tecnología es utilizada de forma equilibrada con otras actividades en un largo periodo, reconociendo su potencial y la información de manera completa (Sidibé, 2005). El patrón que sigue esa tasa de adopción en el tiempo es lo que se conoce como la difusión de la innovación.

(Carrillo, 2008, p. 69) comenta que, básicamente existen dos canales que informan a los productores sobre la existencia e importancia de prácticas innovadoras: los medios de comunicación masiva y las relaciones interpersonales. El primero es bastante general, mientras que el segundo se da por lo regular entre individuos que comparten intereses comunes de actividad económica, por lo que es más efectivo que el de los medios masivos. Por otro lado, algunos estudios muestran que los factores que influyen en la decisión de los productores agrícolas para adoptar o no una nueva práctica que reduce los costos unitarios de producción, dependen de las características propias de la innovación considerada.

4. Tecnología para la aplicación del riego agrícola

En la actualidad, existen por lo menos cuatro formas de aplicar el riego a los cultivos, cada una de ellas con diferentes grados de eficiencia y, por lo tanto, asociados con distintos niveles de costos; de mayor a menor son: cama, goteo, aspersión y rodado. El riego de cama o acolchado es un sistema en donde el suelo es cubierto por sábanas de plástico y evita la evaporación del agua regada. Su uso puede limitarse por el costo económico y el costo ambiental si no se realizan todas las tareas de retiro del material al año de uso. Tiene las ventajas de obtener un producto más limpio y con mejores características de tamaño y presentación.

El riego por goteo es un sistema que funciona a presión para hacer circular agua por tubos perforados dispuestos sobre el suelo. Aunque se trata de una tecnología relativamente sencilla, exige inversión y mantenimiento, ya que las perforaciones por donde sale el agua pueden obstruirse fácilmente. Los resultados obtenidos en muchos países muestran que los agricultores que pasaron del riego por aspersión a sistemas de goteo han reducido su consumo de agua de 30 a 60 por ciento.

El riego por aspersión consiste en una distribución uniforme del riego, lo que se consigue estableciendo ramales con emisores en el campo que, variando tiempos de riego y distintas posturas o velocidades de desplazamiento del ramal, logran una alta uniformidad del agua aplicada; se usa para cultivos en forma de plantación, donde la densidad de plantas es muy alta.

El riego rodado consiste en hacer correr el agua por gravedad por los surcos sembrados y representa un desperdicio mayor a 50% del agua, en comparación con el de goteo.

4. EL marco de referencia del estudio

4.1. El enfoque de la gestión integral de los recursos hídricos en México

Por la importancia del agua, su manejo ha sido tradicionalmente objeto de debate al nivel internacional. Sin embargo, recientemente la construcción de acuerdos culminó con el desarrollo del enfoque de gestión integral de los recursos hídricos con cuatro principios fundamentales. El primer principio, que aparece desde 1992 en Dublín, fue el de concebir el agua como un recurso finito y vulnerable, principio que ya había sido reconocido y propuesto por los

economistas dedicados al estudio de los recursos naturales, al reconocer que el agua, en sus depósitos naturales, puede convertirse en un recurso no renovable si su tasa de extracción excede a su tasa de recarga natural. Esta concepción dio origen a la adopción de una nueva política pública, que se cataloga ahora como el modelo de gestión de la demanda, en contraposición con las políticas utilizadas por decenios, consistentes en promover la oferta del agua mediante grandes obras de infraestructura y altas cantidades de inversión, sin tomar en consideración la dinámica natural del medio ambiente en las distintas regiones del mundo.

El segundo principio consistió en definir a las cuencas, y dentro de ellas a las subcuencas y los acuíferos, como unidades de gestión y administración del agua, lo cual puede mejorar el manejo sustentable de los recursos hídricos, pues dicho principio obedece al manejo del estado natural de los cuerpos de agua, ajustándose de esta manera al modelo de gestión de la demanda. En este sentido, se abandona la práctica de decisiones centralizadas del gobierno que favorecían a la ampliación de la oferta de recursos hídricos sin tomar en consideración su balance natural. El nuevo modelo de administración y gestión de los recursos hídricos favorecen ahora a las *políticas públicas* que inciden sobre el agua ya disponible mediante un uso racional y con mejor aprovechamiento.

Un tercer principio se genera a partir de reconocer que es el factor humano el que realmente incide sobre el uso (o abuso) en el consumo del agua. La gestión integrada de los recursos hídricos requiere como factor indispensable la participación de sus usuarios.

El cuarto principio, y el más controvertido, es el que asigna valor económico al agua y por lo tanto lo sujeta a las leyes de mercado y a la privatización del recurso. La aplicación de este principio ha violentado el estado de cosas en varios países del mundo y ha generado situaciones de rechazo en otros (IMTA, 2009). Aun con estos contrastes, México ha tomado como modelo a la gestión integral de los recursos hídricos para diseñar sus políticas públicas y para 2004, tomando como referencia a este modelo, deriva sus leyes en función de los cuatro principios que rigen la operación de este enfoque.

De conformidad con los lineamientos establecidos por el modelo de gestión integrada de los recursos hídricos y respecto al agua subterránea, es conveniente precisar que desde 1988 se ha generado en México la siguiente estructura administrativa: 25 Consejos de Cuenca (CC), que son órganos colegiados, instancias de coordinación, concertación, consulta y asesoría, entre

la CNA y otras entidades federales, los gobiernos estatales, municipales, los representantes de usuarios de agua, de la academia científica, y organizaciones no gubernamentales (CNA, 2008, pp. 81-85). Dentro de ellos se crearon 71 Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (Cotas) en 71 acuíferos del país. Estos comités son órganos auxiliares de los CC, que participan en el ordenamiento de los recursos hídricos subterráneos. Sus acciones son las de planeación participativa; organización, capacitación y representación de los usuarios en materia de agua.

5. Descripción de la región de estudio

La región del acuífero de Tecamachalco se integra por 30 municipios (27 de forma completa y tres más de manera parcial) del estado de Puebla. Son identificables, dentro de esta región, tres Valles, los cuales coinciden en diferencias marcadas por el uso del agua del acuífero: el valle de Tepeaca-Tecamachalco, el Valle de Palmar de Bravo-Esperanza y el Valle de Tepeaca-Quecholac. Las formas geofísicas que definen a estos valles también marcan diferencias en las corrientes subterráneas y en la forma en que se alimenta el subsuelo. El Valle de Palmar-Quecholac se alimenta de los vertederos que provienen del volcán Ixtaccíhuatl y se dirigen hacia el Valle de Tepeaca-Tecamachalco. Las corrientes del Valle de Acatzingo-Quecholac se nutren de los escurrimientos que provienen del Volcán de la Malinche y en el Valle de Tepeaca-Tecamachalco viajan corrientes débiles que provienen tanto de la Malinche como del Ixtaccíhuatl. Es importante señalar que también este valle recibe las aguas que provienen del sistema de riego de Valsequillo (CNA, 2015).

6. El uso de los recursos hídricos en la región

En la tabla 1 se presenta la distribución territorial en el uso del agua del acuífero. Según el censo de 1999, se extraía un volumen bruto de 343 hm³/año, con un total de 937 pozos activos. De la extracción total, 278 hm³/año corresponden al uso agrícola (81%). Desde el punto de vista regional, la mayor parte de las extracciones de aguas subterráneas se concentra en la zona del Distrito de Riego y la menor en la zona de Esperanza, teniéndose

valores semejantes en las zonas de Tepeaca y Palmar de Bravo. La extracción aumentó desde el inicio de la explotación de las aguas subterráneas. En 1988 la extracción se estimó en 228 hm³/año; en 1999, de 283 hm³/año, y en 2002 de 343 hm³/año (CNA, 2002).

Tabla 1
Distribución territorial de los usos del agua subterránea
del Acuífero de Tecamachalco (hm³)

Área	Tipo de uso	
	Agrícola	Total
Total Acuífero	278	343
Distrito Tecamachalco	129	151
Tepeaca	62	83
Palmar de Bravo	73	89
Esperanza	14	20

Fuente: tomado de CNA (2002).

Por lo que respecta al agua superficial, su volumen es del orden de 207 hm³/año, provenientes de la presa Valsequillo, obra de cabecera del Distrito de Riego No. 030. La superficie irrigada es del orden de 16 000 ha.

6.1. Caracterización de los productores agrícolas de la región

En la zona de influencia se ha identificado que la mayoría de los productores dedican sus recursos a la producción de alimentos tradicionales tales como el maíz y el frijol para el consumo humano y la alfalfa para el consumo del ganado.

La tabla 2, muestra información sobre la producción agrícola de la región por tipo de cultivo, relacionada con el uso del acuífero. Una vista rápida de esa información sugiere una selección de cultivos que no sería la más rentable. Aquí, el beneficio por unidad de superficie destinada a la producción de hortalizas y flores, que son cultivos comerciales, reporta un ingreso promedio 18 veces superior al ingreso proveniente de la siembra de cultivos básicos. Sin embargo, la superficie destinada a cultivos básicos representa

más de las dos terceras partes del total de superficie bajo riego, y los cultivos comerciales son cosechados apenas en menos de la tercera parte de la superficie. Por otro lado, cuando el análisis se refiere a los beneficios obtenidos por el uso del agua, la rentabilidad de los cultivos comerciales es 28 veces superior: 3.14 pesos/m³ en cultivos comerciales, contra 0.11 pesos/m³ en cultivos básicos.

Bajo esta perspectiva, es claro que si la agricultura del acuífero de Tecamachalco se transformara en una agricultura toda comercial, el cambio significaría, por un lado, un ahorro en de agua del subsuelo que equivale a cerca de 75 hectómetros cúbicos y, por otro, un aumento en los beneficios totales netos.

Tabla 2
Cultivos de la región del acuífero de Tecamachalco

Cultivo	Superficie (ha)	Consumo Agua (hm ³)	Beneficio neto	Renta por ha	Renta por m ³ agua
alfalfa	5580.4	75.6	2 400 000.0	430.08	0.03
maíz grano	10314	122.2	16 700 000.0	1 619.16	0.14
maíz forrajero	523.6	5.2	1 600 000.0	3 055.77	0.31
frijol	1644.5	9.4	2 100 000.0	1 276.98	0.22
subtotal	18062.5	212.4	22 800 000.0	6 381.99	0.11
porcentaje	67.66%	76.40%	9.95%		
hortalizas/ flores	8632	65.6	206 300 000.0	23 899.44	3.14
porcentaje	32.34%	23.60%	90.05%		
total	26694.5	278	229 100 000.00	8582.29	0.82

Fuente: elaborado con base en información de Sagarpa (2016).

Por último, el tamaño promedio de las unidades económicas agrícolas en la región del acuífero es cercano a 4.5 hectáreas, y las que disponen de riego cuentan con casi 2.3 hectáreas de riego, de manera que, quienes destinan sus tierras de riego a la producción de cultivos básicos, obtienen un promedio de 2 903.00 pesos de ingresos netos por hectárea, mientras que sus contrapartes con cultivos comerciales obtienen en promedio cerca de 25 174.00 pesos por ha.

Aunque el cambio de cultivos básicos a cultivos comerciales significaría una reducción importante del gasto de agua, esa sería tendría que ser una solución que se formaría a partir de decisiones personales de más de 19 000 productores. Es por ello que la adopción de tecnologías modernas de riego propuestas como parte de las políticas públicas de gestión de la demanda y la asignación de precios al agua mediante el mercado de derechos podría ocasionar una reducción tan importante (o más) en el consumo.

7. Metodología

Para la obtención de la información necesaria para la investigación se levantó una encuesta entre 121 productores agrícolas de la zona, todos ellos con acceso a riego, aplicando una combinación de técnicas consistente en el uso de cuestionarios estructurados y la realización de entrevistas a profundidad.²

El análisis econométrico se realizó con dos grupos de variables independientes. Con el primer grupo, el objetivo era identificar las variables agregadas que impactan el aprovechamiento adecuado del agua subterránea, entre ellas el uso de tecnología ahorradora de agua, mientras que, con el segundo grupo, se trató de conocer los factores que determinan la propensión de los regantes a usar esa tecnología.

² Las entrevistas personales tomaron un tiempo de convivencia mayor a lo esperado. Las conversaciones con productores regantes fueron definitivamente negadas en el inicio. Fue necesario, antes, una plena identificación con los líderes. Si el rechazo a dar información era evidente, la causa del rechazo no lo era. Poco a poco fueron aflorando las razones: la mayor parte del acuífero se encuentra ubicada en una zona conflictiva del estado de Puebla. El crimen organizado tiene presencia en la región y los productores se inhiben y no acceden fácilmente a conversaciones con desconocidos. Las pláticas con los líderes requirieron de invertir un tiempo casi cinco veces mayor a lo que se puede considerar como un tiempo normal. En experiencias anteriores, se tomaba como tiempo normal el invertido en las siguientes acciones: 1) Presentación e identificación con autoridades formales con documentos oficiales. 2) Presentación con representantes formales de la sociedad de pozos. 3) Presentación ante la asamblea de la sociedad y lograr la autorización de la aplicación de los cuestionarios. 4) La aplicación de los cuestionarios a los regantes seleccionados dentro de la muestra. Ahora se debe agregar un elemento más: 5) La autorización del “agente desconocido” que aprueba realizar el trabajo, lo cual sucedió con un buen número de casos que llevó a invertir cerca de nueve meses en el levantamiento de la encuesta, cuando se tenía programada una duración de dos meses. A partir de ahí, fue necesario redefinir la construcción de los cuestionarios, reorientar el trabajo de campo de los encuestadores y generar confianza entre los productores agrícolas elegidos en la muestra y aplicar el cuestionario.

8. Variable dependiente

Es claro que, en un estudio del uso del agua subterránea de un acuífero en particular, los niveles de extracción debería ser la variable dependiente. Sin embargo, en el estudio exploratorio resultó imposible medir el impacto de la extracción en los niveles del acuífero, pues no se contaba con recursos financieros para realizar los estudios piezométricos consistentes en medir la variación en los niveles estáticos y la extracción en litros por segundo de los pozos pertenecientes a los productores encuestados. Este procedimiento registraría la información directa sobre la afectación de los niveles de los pozos y por inferencia de los niveles del acuífero. Al no contar con información de esa naturaleza, en consecuencia, se procedió a diseñar un instrumento alternativo que permitiera medir el efecto de la extracción del agua.

Para tal efecto se recurrió a la información del estudio exploratorio. Las observaciones visuales detectaban la existencia, sobre todo en la región de los municipios de Quecholac y Palmar de Bravo, Los Reyes de Juárez y de Acatzingo, de utilización de tecnologías de riego más avanzadas, en particular el riego por goteo, de aspersión y, en menor frecuencia, de riego de cama o acolchado. Estas observaciones nos llevaron a rediseñar el cuestionario de tal manera que permitiera, por un lado, cuantificar el número de productores que aplicaba alguna o algunas de estas innovaciones técnicas, así como su importancia relativa en términos de superficie cultivada.

Para ello se tomaron en cuenta las especificaciones oficiales del aprovechamiento del agua asociado con las diversas formas de riego, que se muestran en la tabla 3. A partir de esa información se construyó una variable de eficiencia del riego, o Índice de Eficiencia, (IDE), determinada como se muestra con el ejemplo siguiente: si el productor declaró que tiene seis hectáreas de riego y en tres de ellas empleó riego por goteo, en una usó riego por aspersión y en las otras dos utilizó riego rodado. La operación que se ejecutó para este caso fue:

$$IDE = \frac{0.83 * SC + 0.80 * SG + 0.70 * SA + 0.52 * SR}{SRT} = 0.67 \leq 1.00 \quad (2)$$

En donde: SC, es superficie bajo riego acolchado; SG, superficie por goteo; SA, superficie por aspersión; SR, superficie por riego rodado, y SRT, superficie de riego total.³

³ Para el cálculo del IDE se tomó en cuenta el valor promedio de los límites, para cada tipo de tecnología de riego, que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Parámetros de eficiencia por tipo de riego
(porcentaje de agua que se aprovecha con el sistema indicado)

Técnica de riego	Límite inferior (%)	Límite superior (%)	Promedio (%)
Riego rodado	40	65	52.5
Riego por aspersión	50	90	70
Riego por goteo	65	95	80
Riego por cama	70	95	83

Fuente: servicio de información agroalimentaria y pesquera (Sagarpa, 2016).

9. Variables independientes

Las variables independientes consideradas en el modelo como el primer grupo estaban relacionadas con la operación del mercado, con las disposiciones del gobierno y con los acuerdos y las acciones de los propios regantes.

Variables de mercado: a) compra y venta de agua, considerando volúmenes y precios, y; b) tamaño de la finca o del terreno a regar. Las primeras variables pretenden estimar la demanda y la oferta de agua que se determinan en el mercado en donde participan los productores agrícolas. El tamaño del predio influye en el volumen de agua extraído del acuífero. Es decir, un ahorro de agua por unidad de tierra no significa, necesariamente, una disminución en la extracción, sino un aumento en la superficie regada o un aumento en la venta de agua.

Indicadores relacionados con la acción del gobierno: a) cumplimiento de vedas, porque se busca conocer si se respeta la acción de prohibición de perforación de nuevos pozos agrícolas que no tienen la calidad de reposición; b) reducción del volumen bajo concesión que se informa cuando se gestiona la ampliación del tiempo de la concesión. En el uso agrícola las concesiones se otorgan por 10 años, debiéndose gestionar su ampliación con una reducción de 10% para su autorización; c) asistencia técnica sobre riego, que promueve el cambio a nuevos sistemas agrícolas para hacer más eficiente el riego, ofrecida por Sagarpa; d) estímulos a la reducción de gasto de energía eléctrica, ofrecidos por la Comisión Federal de Electricidad, que implica tarifas reducidas cuando se reduce el ritmo de extracción.

Variables asociadas con las acciones de los regantes: a) comunicación, para conocer qué tan informados están los productores agrícolas de los acuerdos que toman en conjunto en relación con las recomendaciones de las instituciones públicas con el propósito del cuidado del acuífero; b) reciprocidad, que busca conocer si los miembros de la sociedad de riego respetan los acuerdos a los que llegan sobre el cuidado del agua; y c) acuerdos, que muestra si se cumple con los ordenamientos de instituciones gubernamentales sobre cantidades de extracción a reducir cuotas o sanciones por incumplimiento.

10. El modelo completo

La acción colectiva de los productores agrícolas consiste en buscar medios que reduzcan el consumo de agua, y un medio disponible para tal efecto es el de adoptar nuevas tecnologías de riego que permitan impedir el desperdicio en que se incurre. Esta reflexión permitió entender que de la variable Índice de Eficiencia (IDE) debería desprenderse la variable independiente, medida a través de la adopción de tecnología de riego y se consideró que una de las alternativas para adoptar mejores niveles de tecnología sería través de la autogestión organizativa (CAO). Estas dos variables miden la relación que existe entre mayores niveles de autogestión organizativa y mayores grados de adopción de tecnología. La medición de estas dos variables tiene como propósitos probar si existe una relación entre adopción de tecnología agrícola e individuos organizados, y si tal relación es positiva, es decir, se espera un mayor grado de adopción cuando el individuo muestra pertenencia a alguna una organización que cumple con ciertos requisitos de autogestión, y si también hace posible la estimación del impacto que tienen las organizaciones sobre el nivel de adopción de nuevas tecnologías de riego.

Por otro lado, se decidió considerar la propensión al uso de servicios del Estado (ACC_GOB) como variable independiente porque, de acuerdo con la corriente teórica de la gestión integral de los recursos hídricos, el papel del Estado es fundamental para disminuir la demanda de agua. En el caso de México, el Estado ofrece una serie de servicios mediante dos de sus entidades públicas, la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa).

Fue fundamental para la investigación, determinar los programas y servicios que prestan estas instituciones, así como el grado de uso de esos servicios en la región del acuífero por parte de los productores agrícolas. La presencia y uso de cada uno de los servicios del estado y su incorporación al modelo de regresión, representada por la variable (*ACC_GOB*), permitió, primero, contrastar la asociación entre adopción de tecnología y uso de servicios del Estado; segundo, identificar cuáles son los servicios más efectivos; y tercero, pronosticar la influencia de estos servicios en la adopción de nuevas tecnologías de riego.

Finalmente, para medir la fuerza que tiene el mercado del agua, se decidió investigar los precios (*PMA*) en caso de identificar la práctica de un mercado del agua en la región, así como las cantidades de agua compradas y vendidas. Sin embargo, un estudio exploratorio para precisar el cuestionario y para determinar la forma de realizar el estudio de campo recomendó el uso de métodos alternos de determinación de precios. La razón de esta decisión fue que las transacciones reales de agua son inusuales, y por lo tanto no fueron suficientes desde el punto de vista estadístico por no permitir una estimación confiable de los modelos de regresión. Así, en la encuesta que se levantó se incluyeron preguntas relativas a la disponibilidad de pagar por comprar agua (*DAC*). Ellas sirvieron como alternativas de valoración de agua en el mercado. Se esperaba una relación directa entre el precio del agua *PMA* y adopción de tecnología *IDE*. De esta manera, la variable *IDE* está en función de tres variables independientes agregadas, *CAO*, *ACC_GOB* y *PMA* (*DAV* o *DAC*).

El modelo econométrico con el primer grupo de variables puede entonces ser representado con la siguiente ecuación:

$$IDE = F(CAO, ACC_GOB, DAC) \quad (3)$$

Donde *IDE* es el índice de eficiencia en el uso del agua; *CAO* es el grado de autogestión de los agricultores regantes; *ACC_GOB* es la participación de las acciones del gobierno, y *DAC* (disposición a comprar agua) es la participación del mercado del agua.

En el segundo grupo de variables independientes se incluyeron otras cuatro que podían afectar específicamente la propensión de los regantes a adoptar tecnologías de riego ahorradoras de agua:

ADA, año de adopción de la tecnología empleada, que fue incluida por la necesidad de conocer cómo se va desarrollando el cambio tecnológico en el tiempo y obedece a la hipótesis de que los productores identifican la necesidad de conservar sus recursos naturales a medida que es más evidente la carencia del líquido.

SRT, tamaño del predio, con la que se trata de contrastar la hipótesis de que es menos costoso reemplazar sistemas de riego por nuevas tecnologías que gasten menos agua para aprovechar una extensión mayor de riego; y

AS_TEC, asistencia técnica, que es una variable que forma parte de la más agregada ACC_GOB, pero que puede incidir de manera individual en la adopción de tecnologías de riego adecuadas.

Entonces, son seis variables independientes las que integran el modelo final de regresión, que se puede representar como sigue:

$$IDE = F(CAO, ACC_GOB, DAC; ADA, STR, AS_TEC) \quad (4)$$

11. Operacionalización de las variables agregadas

11.1. Conversión de la variable IDE a variable dicotómica

Por el propio diseño del modelo de regresión binario Logit, fue necesario transformar el IDE en la variable dicotómica DTR y registrar valores de la manera siguiente:

$$DTR \begin{cases} = 1, \text{ si usa algún tipo de tecnología} \\ = 0, \text{ si solo usa riego rodado} \end{cases}$$

Esta transformación permitió conocer si el estimador $DTR \approx IDE$. Por otro lado, servirá para estimar sobre disponibilidad de los regantes a adoptar nuevas tecnologías de riego, en función de las variables independientes.

11.2. Operacionalización de la variable CAO

La variable CAO resulta de la suma de indicadores que dan cuenta de aspectos relacionados con la autogestión de la organización de regantes, tomando como referencia las sugeridas por Ostrom (2000), donde se propone que la tragedia de los comunes, es decir, las deseconomías que a cada usuario de bienes comunes provoca la operación conjunta de esos usuarios y que, para el caso de recursos naturales puede resultar en el abatimiento

del recurso, se puede evitar mediante un comportamiento cooperativo de los usuarios con base en acuerdos entre todos ellos. Para eso se plantearon las siguientes preguntas, cuyas respuestas tuvieron valores dicotómicos (Sí = 1; No = 0):

ORG. ¿Pertenece a alguna organización para preservar el acuífero?

SOC. ¿Existe sociedad del pozo y pertenece a ella?

ACC. ¿Tienen acuerdos para cuidar el agua de su pozo?

REAP. ¿Existen acuerdos para reducir la extracción de agua del pozo?

CUOTAS. ¿Se han establecido cuotas para la preservación del agua?

SANCS. ¿Se han establecido cuotas para la sanidad del agua?

11.3. Operacionalización de la variable ACC_GOB

La variable ACC-GOB tiene un tratamiento semejante a la de la variable CAO. Es decir, se determinaron 12 indicadores que se presentan a continuación, y se les asignaron valores dicotómicos a las respuestas (Sí = 1; No = 0):

GESGOBOR. ¿Estaría de acuerdo en que el gobierno impulsara esta asociación?

GES_IND. ¿Estaría de acuerdo en que la asociación fuese independiente del gobierno?

SUP_GOB. ¿Estaría de acuerdo en que la asociación fuese supervisada por el gobierno?

DISM_CNA. ¿Sabe si la CNA ha reducido el volumen de agua concesionado de su pozo?

TEC_SAG. ¿Conoce usted el proyecto estratégico de tecnificación de riego de SAGARPA?

BEN_SAG. ¿Ha sido beneficiado por este programa?

SUB_CFE. Usted o la sociedad a la que pertenece ¿recibe el subsidio de energía eléctrica?

AS_TEC. Usted ¿ha recibido asesoría técnica sobre el uso y manejo del agua?

SAG_APOY. ¿Ha recibido algún apoyo para hacer más eficiente el riego?

OBRAGOB. ¿Sabe si el gobierno ha realizado obras de conservación de suelos y agua?

ORG_GOB. ¿Conoce usted al COTAS?

11.4. Operacionalización de la variable de mercado de agua

Se usaron cuatro variables para determinar los precios y cantidades de agua que posibilitaran valorar la importancia del mercado de agua. La investigación demostró, sin embargo, que tal mercado no existe de manera generalizada. Es decir, no existen transacciones reales de compra y venta de derechos de agua. Sólo existen transacciones de compra y venta para riegos de auxilio y se registraron sólo en el 4.1% de los productores entrevistados. En este caso, los indicadores utilizados fueron:

VENTA. ¿En cuánto vendió el agua?

COMPRA. ¿En cuánto compró el agua?

RIEGAPOYO. ¿El riego comprado apoya la superficie actual o es para aumentar superficie?

DAV. Si pudiera o quisiera ¿En cuánto vendería el agua?

DAC. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por agua comprada?

Así se descubrió que la mayoría de los regantes no tienen intenciones de vender, mas sí de comprar agua para utilizarla en el proceso productivo. Así se decidió utilizar la pregunta sobre la disponibilidad a pagar por agua comprada, pues fue la pregunta que logró la mayor cantidad de respuestas debido a que el individuo o productor siempre está dispuesto a incrementar la cantidad de agua que tiene a su disposición.

12. El modelo econométrico

Como se había explicado anteriormente, con el propósito de estimar porcentajes de usos de tecnología y su aplicación en ahorro de agua, la variable IDE se transformó a una variable dicotómica (DTR) que pudiera ser procesada significativamente con un modelo binario. Así, el análisis econométrico se realizó con la ayuda de un modelo *Logit*.

La selección de esta técnica de regresión tuvo dos motivos. Primero, el modelo *Logit* da como resultados estimaciones probabilísticas que provienen de una simple división del número de casos que cumplen con el requerimiento de la función binaria entre el número total de observaciones lo que, a su vez, es una representación relativa. Es decir, el porcentaje representa

la disponibilidad que tiene el productor de adoptar tecnologías de riego y la construcción matemática permite generalizar los casos a todos los regantes de la región y poder así estimar un porcentaje de uso de tecnologías de riego en toda la región. Segundo, el modelo de elección binaria de la forma en que está construido permite estimar el efecto que tienen las variables independientes sobre el uso de tecnologías de riego, lo cual puede ser determinante para el diseño de políticas públicas.

En general, el modelo *Logit* muestra que:

$$P_i = \alpha + \beta X_i \quad (5)$$

donde: P_i , es la probabilidad de que la eficiencia del productor i sea la más alta. Así, una relación que genera un comportamiento con valores de variación entre 0 y 1, es: $P_i = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta X_i)}}$.

Definiendo la razón de probabilidades (*odds ratio*) como: $\frac{P_i}{1 - P_i}$, y tomando los logaritmos de esa razón se tiene:

$$L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = Z_i = \alpha + \beta X_i \quad (6)$$

entonces, el L_i resulta lineal en X y también en los parámetros.

La interpretación del modelo es la siguiente: β es la pendiente y mide el cambio en L ocasionado por un cambio unitario en X , es decir, dice cómo el logaritmo de las probabilidades a favor de mejorar el uso de nueva tecnología crece a medida que, por ejemplo, el costo del agua (X) cambia en una unidad; α , es el valor de L si el costo del agua es cero. Dado un nivel de costo del agua X^* , si se desea estimar la probabilidad de tener alto nivel de eficiencia se puede calcular a partir de la definición de P_i una vez estimados los parámetros. El método de estimación es por máxima verosimilitud (MVS).

13. Análisis de resultados

13.1. Sobre la adopción de tecnología de riego

En el estudio de campo se encontró que sólo 3.3% de los productores usan el riego más eficiente de cama o acolchado. Por otro lado, 42.1% de

los productores emplean riego por goteo (que es el segundo más eficiente) en todo o en parte de sus terrenos de riego. El riego por aspersión lo utiliza el 9.1% de los productores estudiados, y por lo regular es utilizado en grandes extensiones para la producción de alfalfa o de silo de milpa considerados como productos para el ganado. El resto de los productores (45.5%) todavía utiliza riego rodado, por lo regular en cultivos básicos como el maíz y el frijol.

Es importante destacar que el sistema por goteo aporta ventajas económicas a los productores: 1) Requiere de una cantidad importante de mano de obra y, aunque las extensiones de tierra cultivada por los regantes incluidos en la muestra son pequeñas (casi 50 % de ellos tiene menos de 2.5 hectáreas y 72.5% menos de cuatro hectáreas) logran incorporar el trabajo familiar. 2) La siembra de hortalizas hace posible que el mismo predio se utilice todo el año y, en frecuentes casos, la resiembra es del mismo producto. Normalmente, el riego por goteo en las extensiones pequeñas se utiliza para la producción de hortalizas, cuyo valor comercial es bastante más alto que los productos básicos. Los cultivos como cilantro, brócoli, cebollín, cebolla, tomate, jitomate y otros, son productos de exportación y de mercados importantes del país en donde logran mejores precios.

Sin embargo, uno de los resultados importantes del estudio es el patrón encontrado en la adopción del cambio tecnológico en el riego entre los regantes estudiados, que ha sido creciente y que en un lapso de 12 años hizo que más de la mitad de ellos adoptara una tecnología nueva.⁴

14. Sobre el modelo econométrico

Para lograr el diseño y prueba de los modelos se utilizó el paquete SPSS, que permite el aumento de consistencia y robustez por medio del uso de la metodología de Wald sobre análisis secuencial, con el propósito de aumentar significancia al modelo a medida que el número de variables incluidas (en pasos consecutivos) probaran mejorarlo (Novikov, 2007).

⁴ Por ejemplo, en 2004, cuatro de los 121 productores entrevistados adoptaron técnicas modernas (diferentes al rodado) de riego; uno en 2005; 6 más en el 2008, llegando a 12 nuevos adoptantes en 2012 y otros 12 en 2016. Así, en 2016, 61 (50.4%) de los 121 productores agrícolas regantes usaba tecnologías modernas de riego.

La tabla 4, muestra la fortaleza con la que las variables independientes explican el comportamiento de la dependiente, a través de la R^2 de Cox y Snell de 0.687 y la R^2 de Nagelkerke 0.917, conforme se realizan los pasos consecutivos de inclusión de variables. Por ello, el modelo queda representado por los datos mostrados en la tabla 5.

Tabla 4
Resumen de fortalezas del modelo

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrada de Cox y Snell	R cuadrada de Nagelkerke
1	78.848a	.476	.636
2	52.339b	.591	.789
3	41.565	.631	.841
4	28.973	.672	.896
5	23.859	.687	.916

Fuente: elaboración propia. Notas: a) La estimación ha terminado en el número de iteración 6 porque las estimaciones de parámetro han cambiado en menos de .001.

b) La estimación ha terminado en el número de iteración 8 porque las estimaciones de parámetro han cambiado en menos de .001.

15. Sobre las variables a evaluar

15.1. Las políticas públicas del gobierno

De los ocho indicadores considerados en la evaluación de la variable acción de gobierno sobre el control de la explotación del acuífero (ACC_GOB), siete no fueron reconocidos significativamente por los regantes entrevistados. El único indicador de los servicios que presta el gobierno con alta significancia y que muestra una relación positiva y directa con la propensión a adoptar nuevas tecnologías agrícolas es el de la asesoría técnica.

Tabla 5
Resultados del modelo de regresión con disponibilidad
de tecnología de riego como variable dependiente

Variables independientes	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp (B)
ADA	.396	.170	5.444	1	.020	1.487
SUP_REG_T	1.063	.349	9.256	1	.002	2.895
CAO	.987	.488	4.099	1	.043	2.683
AS_TEC	3.612	1.520	5.644	1	.018	37.035
DAC	.068	.026	6.873	1	.009	1.071
Constante	-819.069	346.141	5.599	1	.018	0.000

Fuente: elaboración propia.

El concepto de asistencia técnica no es sólo la comunicación o divulgación sobre información completa y sobre el uso de la nueva tecnología; se agrega también información sobre cómo acceder a financiamientos y a apoyos directos para adquirir nuevas tecnologías. De hecho, la asesoría técnica sobre uso de nuevos sistemas de tecnología de riego a los productores demostró tener un efecto 37 veces mayor para adoptar tecnologías de riego que aquellos productores que carecen de este servicio del gobierno.

15.2. El mercado de derechos de agua

La investigación muestra que existe un mercado de agua cuyas transacciones se reducen a la compra de agua para apoyo de riego y sólo en casos poco frecuentes. En el caso del acuífero estudiado, 90% de las transacciones se debieron a riegos de apoyo para la finalización de un determinado cultivo, y las transacciones de volúmenes pequeños de agua muestran que a mayor precio del agua existe una mayor tendencia a disminuir el consumo y la extracción de agua del acuífero.

15.3. La acción colectiva de las organizaciones de regantes

Se encontró una relación positiva y directa entre el grado de asociación de las organizaciones y la propensión a adoptar nuevas tecnologías de riego.

A pesar de que su efecto es el que representa la intensidad más baja de las variables, la pertenencia a alguna organización significa que su probabilidad de adoptar tecnología de riego es dos veces mayor que cuando no tiene pertenencia. De hecho, se muestra que un productor perteneciente a una organización tiene 2.68 veces más la propensión a adoptar tecnologías que los productores que no están organizados.

15.4. Las variables individuales de los regantes

Los resultados de la investigación muestran que hay dos variables que se asocian a las características propias de los regantes que están directamente relacionadas de manera importante con la adopción de nuevas tecnologías de riego: el tiempo que han estado expuestos antes de adoptar (ADA) y la superficie de riego que tienen en su parcela (SRT). Ello era de esperarse, ya que, conforme pasa más tiempo, más posibilidades tienen los regantes de conocer las nuevas tecnologías, y mientras mayores son las superficies que tienen que regar, mayores ahorros les proporcionarán esas nuevas tecnologías.

16. Comentarios generales

Independientemente de los resultados que se obtuvieron con el estudio econométrico del comportamiento de los productores agrícolas que utilizan el riego del acuífero, es relevante qué tuvieron como respuesta a las recomendaciones oficiales sobre el manejo del recurso.

Como ya se ha dicho, uno de los principios objetivos del enfoque de la gestión integral de los recursos hídricos consiste en propiciar la participación de los productores con el propósito de hacer de su conocimiento las distintas recomendaciones que serían convenientes para la reducción del consumo del agua, y como se ha visto, en la zona de influencia se ha identificado que la mayoría de los productores dedican sus recursos a la producción de alimentos tradicionales, tales como el maíz y el frijol para el consumo humano y la alfalfa para el consumo del ganado.⁵

⁵ El acuífero de Tecamachalco, que ocupa el tercer lugar entre los cinco más sobreexplotados en México y con tendencia al agotamiento, se localiza, como ya se ha dicho, en la región centro-oriente de Puebla y satisface las necesidades de más de 650 000 habitantes de 30 municipios de ese Puebla.

En relación con esta situación, en 2007 el COTAS del acuífero de Tecamachalco, cuyo objetivo fundamental ha consistido en dar a conocer a sus usuarios las disposiciones técnicas que la CNA estudia con objeto de evitar su sobreexplotación, les informó de una disposición que consistía en cambiar para el siguiente ciclo agrícola la siembra de cultivos anuales a cultivos comerciales.⁶ Se argumentaron dos razones por las cuales los funcionarios de la CNA la recomendaban: 1) Primero, los cultivos anuales tienen un uso consuntivo de agua mayor que los cultivos comerciales; este cambio tendría como consecuencia un ahorro importante de agua. 2) Segundo, la recomendación permitiría un ingreso mayor por esta vía, por lo que los agricultores por lo menos duplicarían sus ingresos con el cambio.⁷ No obstante lo anterior, no se observaron cambios importantes de cultivos entre los productores agrícolas estudiados.

A continuación se ofrecen algunas reflexiones evaluativas sobre la propuesta del cambio en el tipo de cultivos.

- 1) La primera reflexión evaluativa consiste en reconocer que la medida (a pesar de su valor intrínseco) carecía de consenso, pues tal recomendación en ningún momento fue sometida al escrutinio público; es decir, los directamente involucrados jamás fueron consultados acerca de la conveniencia de tal medida, lo cual conduce a otros conceptos para un reconocimiento de cómo esta medida afecta los intereses de los supuestos beneficiarios.
- 2) La maximización del beneficio o la elección racional. No someter a la evaluación del escrutinio público la recomendación anterior indica que las decisiones tomadas tienen un origen unilateral. Se trata de un problema cuya posible solución también se origina de manera unilateral y se da a conocer suponiendo que el maximizar los ingresos de los agricultores de la región tendría un reconocimiento generalizado. La medida no consideró que un buen número de los campesinos produce no con el

⁶ Otra disposición oficial indicaba la reducción del volumen concesionado del agua, que será comentado más adelante.

⁷ Sin embargo, el cambio de cultivos básicos a cultivos comerciales sería una solución que se obtendría a partir de decisiones personales de más de 19 000 productores. Por ello es que quizás la adopción de tecnologías modernas de riego, propuestas como parte de las políticas públicas de gestión de la demanda, combinada con la asignación de precios al agua mediante el mercado de derechos, podría ocasionar una reducción importante en su consumo.

objeto de maximizar los ingresos, sino que su propósito es el de asegurar su supervivencia mediante la provisión de cultivos de consumo de vida, como es el caso de los cultivos básicos. Por otro lado, el número de productores que asistió a la reunión donde se propuso el cambio era muy pequeño, sin mayor representatividad, pues sólo uno de ellos era presidente de la sociedad de un pozo denominada Alseseca, quien asistió con no más de 10 de sus compañeros asociados.

- 3) El consenso sobre lo más conveniente o la elección social jamás fue construida. La toma de decisiones fue asumida sólo por parte de los funcionarios de la CNA. La experiencia ha demostrado que la tendencia en las proporciones de la superficie sembrada entre cultivos básicos y cultivos comerciales se mantiene constante.

Otra disposición que se somete al escrutinio público fue la medida de reducir el volumen concesionado de agua. La disposición consistió en disminuir en un determinado porcentaje la cantidad concesionada de agua para aquellos productores cuyo permiso hubiese caducado al momento de ampliar el periodo de concesión. Sin embargo, después de seis años de trabajo, el desequilibrio entre la cantidad de agua que entra al acuífero y la cantidad de agua que sale, se mantiene en las mismas condiciones.

Tratar de explicar por qué el Estado impulsa la participación de los productores tiene que ver con las recomendaciones teóricas que provienen de la corriente del autogobierno de los comunes. Según este enfoque (Ostrom, Gardner y Walker, 1996), el comportamiento egoísta de los agentes económicos, fundamento del uso irracional de los recursos de uso común (RUC), puede ser cambiado por una actitud cooperadora para resolver el problema indicado.

Ostrom (2000) argumenta que la tragedia de los comunes no es más que un juego en donde los individuos que participan carecen de la información necesaria en la toma de decisiones, lo que provoca que cada productor intente maximizar sus utilidades mediante la intensificación del uso del recurso común. El libre acceso de los productores en su propósito de obtener las ganancias máximas intensifica la sobreexplotación del recurso, y por lo tanto, la acción colectiva irracional provoca su fin. La misma autora agrega que si dichos actores se alimentan con la información necesaria, se producirá un cambio de actitud hacia una posición cooperadora; con esta nueva actitud, las reglas del juego pueden cambiar motivando la participación activa de los productores para también cambiar los resultados del

juego de manera favorable. Esta puede ser la razón por la cual el gobierno mexicano trata de incorporar al proceso de toma de decisiones a los agentes económicos que explotan los acuíferos de México.

Es necesario terminar esta sección con una reflexión de Ostrom (2000) a propósito del enfoque teórico del autogobierno de los comunes y de los posibles modelos que se pueden generar: “Lo que hace tan interesantes y poderosos estos modelos es que captan importantes aspectos de diversos problemas que ocurren en distintos escenarios en todo el mundo. Lo que los hace tan peligrosos cuando se les usa metafóricamente como fundamentos de una política es que las restricciones que se asumen como inmutables para los fines del análisis se consideran como realmente fijas en ámbitos empíricos diferentes” (Ostrom, 2000, p. 243).

17. Conclusiones

Como se mencionó en la introducción, dada la importancia del recurso agua al nivel mundial y nacional, actualmente se reconoce que su manejo y administración debe orientarse hacia su sostenibilidad. Por otro lado, se ha aceptado recientemente que un manejo sostenible del agua en general lo puede proporcionar el modelo de gestión integral de los recursos hídricos que lo considera como un recurso finito y vulnerable y pone énfasis en la regulación de la demanda. En este modelo, vigente en México, la sostenibilidad del recurso se puede alcanzar con la participación conjunta del gobierno, el mercado y los usuarios.

En este trabajo se muestran los resultados de una investigación realizada entre 2016 y 2017, con el objetivo central de identificar la importancia que tienen esos tres actores del enfoque de la gestión integral de los recursos hídricos, a partir del estudio del uso agrícola del agua subterránea proveniente del acuífero de Tecamachalco, en el estado de Puebla.

Se encontró que la participación del Estado impacta positivamente en el uso sustentable del agua a través de sólo uno de los ocho diferentes servicios considerados: la asistencia técnica que otorga a los agricultores regantes de la zona, principalmente sobre el uso de tecnología eficiente en el riego. Otros de ellos, incluidos los ordenamientos de veda la disminución en los volúmenes concesionados o la operación de las comisiones administradoras-operadoras de aguas, son ampliamente conocidos por los regantes o simplemente no son tomados en cuenta por ellos.

También se encontró que el mercado tiene cierta influencia en el uso sostenible del recurso a través de los precios que rigen en las transacciones. No obstante que en el mercado del agua solo participan quienes necesitan volúmenes adicionales para cubrir el ciclo de producción en sus parcelas, a medida que crece la necesidad del recurso para terminar un cultivo, hay mayor disposición a pagar por él y, por lo tanto, una propensión mayor a adoptar tecnologías ahorradoras del recurso.

Por lo que respecta a la participación de los usuarios en el manejo adecuado del recurso, todo parece indicar que es el factor humano el que realmente incide sobre el uso sostenible del agua. En el caso de los productores agrícolas estudiados, se encontró una fuerte relación entre el uso de tecnologías ahorradoras de agua y la existencia de acuerdos dentro de las organizaciones de los regantes. Es importante destacar esta participación positiva de las comunidades regantes en el proceso de recuperación del acuífero, pues es en el sector agrícola en donde ocurre el mayor gasto de agua, no sólo en México, sino en el mundo. En relación con este aspecto, el estudio permite concluir que son las comunidades de regantes las que, por iniciativa propia, han reconocido el valor del agua al notar su escasez y, han demostrado que actuando de manera asociativa se puede cuidar mejor el acuífero.

Es también importante destacar que la acción combinada de las políticas del gobierno, la influencia del mercado y la asociatividad de los miembros de la comunidad de regantes estudiada ha hecho que la difusión de la tecnología de riego ahorradora del recurso tenga una evolución reciente muy positiva, ya que en sólo 12 años (entre 2004 y 2016) más de la mitad de los productores agrícolas han adoptado tecnologías modernas de riego. Ello sin duda apunta hacia un manejo más sostenible del agua y hacia una mayor posibilidad de rescate del acuífero.

En resumen, en el caso de los agricultores regantes de la zona del acuífero de Tecamachalco, las decisiones sobre la adopción de tecnologías de riego ahorradoras de agua son tomadas de manera voluntaria por ellos, pero son ciertamente inducidas por la escasez del recurso reflejada en los precios del mercado y permitidas tanto por la asistencia oficial que reciben del Estado como por la identificación de objetivos comunes entre ellos.

Referencias

- Carrillo-Huerta, M. M. (2008). *Transferencia y adopción de tecnología en la competitividad y el desarrollo regional*. Estudios relevantes a México. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Comisión Nacional del Agua (2002). *Información general del agua en México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103299/DR_2101.pdf.
- ____ (2008). *Estadísticas del agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- ____ (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero del valle de Tecamachalco*. México: Comisión Nacional del Agua, Subdirección Técnica de Aguas Subterráneas.
- Conrad, J. M. (1999). *Resource economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Daly, H. (1990). Toward some operational principles of sustainable development. Commentary, *Ecological Economics*, vol. 2, pp. 1-6.
- Europe Union Water Initiative (mayo, 2012). *Pricing water resources to finance their sustainable management. A think-piece for the EUWI Finance Working Group*. Estocolmo: Europe Union Water Initiative.
- Global Water Partnership (2013). *Aguas Subterráneas-Acuíferos*. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2009). *Gestión del agua: una visión comparativa entre México y Brasil*. México: IMTA.
- Lee, K. N. (1993). Creed, scale mismatch, and learning, *Forum. Ecological Applications*, vol. 3, No. 4, pp. 564-566.
- Martínez-Austria, Poliotro F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica, *Tecnología y ciencias del agua*, IV, (noviembre-diciembre), pp. 165-180.
- Novikov, A. (2007). *Una introducción elemental al análisis estadístico secuencial*. México: UAM-Iztapalapa. Recuperado de [http://mat.izt.uam.mx/profs/anovikov:http://novikov.amikeco.ru/seq/secuen1.pdf](http://mat.izt.uam.mx/profs/anovikov/http://novikov.amikeco.ru/seq/secuen1.pdf).
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2016). *Water policy reforms in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia*. Recuperado de https://issuu.com/oecd.publishing/docs/euwi_report_layout_english_w_forewo_562e57765c 2174.
- Ostrom, E.; Gardner R. y J. Walker (1996). *Rules, Games, and Common-pool Resources*, Michigan: University of Michigan Press. <http://www.press.umich.edu/titleDetailDesc.do?id=9739>.
- Ostrom, E. (2000). *El gobierno de los bienes comunes: la evolución de las instituciones de acción colectiva*. México, DF.: Fondo de Cultura Económica.

- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovations*, Nueva York: The Free Press.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). *Diario Oficial de la Federación*, México. Recuperado de [http:// www. dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5467916&fecha=28/12/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5467916&fecha=28/12/2016).
- Savale, R. S. (1966). Technological change in agriculture: study of sources of its diffusion, efficacy of those sources, and the economic factors affecting the adoption of improved practices". *The Indian Journal of Agricultural Economics*, vol. 21 (enero-marzo), pp. 199-208.
- Sidibé, A. (2005). Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso, *Agricultural Water Management*, vol. 71, No. 3, pp. 211-224.
- Valdivieso, T. C. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión, *Investigación y desarrollo*, vol. 11, 7148-176.

Apéndice. La determinación del tamaño de muestra

El tamaño de muestra calculado para esta investigación consideró los 1 376 pozos existentes en el registro público de derechos de agua de la Comisión Nacional del Agua para la región de estudio. Se utilizó la fórmula siguiente, que sugiere Valdivieso (2011), para calcular el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{t_{\frac{\alpha}{2}, n_{p-1}} s_p^2 N}{t_{\frac{\alpha}{2}, n_{p-1}} s_p^2 + e^2 (N - 1)} \quad (7)$$

en donde:

$t_{\frac{\alpha}{2}, n_{p-1}} = 2.0242$ es el valor de t al 95% de confianza y n_{p-1} los grados de libertad

$s_p^2 = 0.2854$ es la varianza muestral del cambio en el nivel estático de los volúmenes de agua con promedio anual de $x = 0.94$ mt.

$N = 1397$ es el total de pozos en el acuífero.

$n = 121$ es el tamaño de la muestra.