

# ACUÍFEROS SOBREEXPLOTADOS Y RIEGO SUBTERRÁNEO: IMPLICACIONES ECONÓMICAS PARA CABORCA

*Carolina Carbajal De Nova*<sup>1</sup>

*Julio Goicoechea*<sup>2</sup>

## RESUMEN

Existe una escasez crónica de agua, particularmente en las zonas áridas del norte de México. Considerando que la agricultura es el mayor usuario de agua subterránea, la sobreexplotación de acuíferos está frecuentemente asociada a dicho uso. El recurso de veda cuando se documenta la sobreexplotación de un acuífero en tanto activo ambiental no producido, constituye una medida para detener, pero no para remediar dicha acción de deterioro. La búsqueda de un equilibrio entre extracciones y recargas, frecuentemente deviene en planteamientos de modernización y rehabilitación de acuíferos, lo cual no necesariamente es garante de solución. En el caso del acuífero de Caborca, los niveles de extracción de agua se han estabilizado por encima del nivel de recarga del acuífero. Con ello, la sobreexplotación adquiere carácter permanente, si bien reducido con respecto a periodos previos. En cuanto al funcionamiento del distrito de riego de la región referida, se observan rendimientos constantes a escala de las extracciones de agua con respecto a la superficie cosechada dentro del corto plazo. Dentro del largo plazo, los rendimientos son modestamente crecientes. En cuanto a la eficiencia en el uso del agua, ésta decrece con respecto a la cantidad de electricidad utilizada. Si bien el coeficiente es modesto en el corto plazo, en el largo es marcado. Por otra parte, se logra una eficiencia en el uso del agua con respecto a la superficie cosechada, particularmente en el largo plazo. Ahora bien, la elasticidad de la cantidad demandada de electricidad con respecto a su precio es particularmente negativa en el corto plazo, mientras que presenta un

---

<sup>1</sup> Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Departamento de Economía (con licencia académica), [enova@xanum.uam.mx](mailto:enova@xanum.uam.mx).

<sup>2</sup> Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Departamento de Economía, [julio@xanum.uam.mx](mailto:julio@xanum.uam.mx).

coeficiente inelástico pero francamente positivo en el largo plazo. Dichos resultados se conforman, en términos generales, con la literatura. Con ello, se abre la puerta para establecer, en principio, una política de precios de la energía eléctrica tendiente a disminuir la demanda. Una proporción cercana al 30% tanto del valor agregado generado como del consumo intermedio generados en el distrito de riego, se obtuvo con volúmenes de agua obtenidos por encima de la capacidad de recarga del acuífero. Por ende, son valores económicos no sustentables que ponen en entredicho la preservación del acuífero mismo. Al interior del distrito se registran grandes heterogeneidades en el uso del agua, con referencia al valor obtenido. Queda de manifiesto un amplio margen para mejorar el desempeño económico del acuífero, haciendo un uso efectivo del agua en términos tanto de generación de valor como de consumo intermedio utilizado.

Palabras o conceptos enumerados:

Acuíferos sobreexplotados, sustentabilidad hídrica, riego subterráneo

## **INTRODUCCIÓN**

En México, la disponibilidad de agua está en razón inversa a la distribución de la población, así como de la actividad económica. En dos tercios del territorio nacional, asiento de las principales ciudades, se cuenta con menos de un tercio de la totalidad de recursos hídricos. Por añadidura, la mayor parte de la infraestructura industrial y de servicios, así como la agricultura irrigada, se localiza básicamente en regiones áridas, correspondiente a los dos tercios mencionados. En estas porciones, la disponibilidad de agua tanto subterránea como superficial cobra relevancia adicional.

Por lo que se refiere a agua subterránea, la relación entre extracciones y recarga es positiva para el país en su conjunto. Sin embargo, este saldo favorable desaparece al analizar acuíferos específicos. En las regiones áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste de México, el

balance entre bombeo y recarga es negativo, operándose un proceso de abatimiento recurrente en su nivel piezométrico. Para caracterizarse como sobreexplotación, dicho proceso habrá de ser recurrente a lo largo de 25 años, por ejemplo,<sup>3</sup> además de causar efectos bióticos y físicos negativos (Pulido, 2001 y Rodríguez- Estrella, 2004).

En 1975, el Plan Nacional Hidráulico detectó 32 acuíferos sobreexplotados, resultando en subsidencia del terreno e intrusión salina en zonas costeras, además del abatimiento del nivel estático, agotamiento de manantiales y el incremento en costos de extracción. En 1981, el número de acuíferos sobreexplotados aumentó a 36, alcanzando 80 en 1995. En cuanto a cuencas hidrológicas, la demanda sistemáticamente es superior a las disponibilidades. Para fines de 2012, la autoridad correspondiente, reportó 106 acuíferos sobreexplotados (Conagua, 2014).

Tanto en acuíferos como en almacenamientos superficiales de agua, la agricultura de riego demanda el 78% de la demanda total de agua dulce en México, dada la tecnología prevaleciente. El vínculo entre sobreexplotación acuífera y riego subterráneo queda de manifiesto.

Los procesos de sobreexplotación de acuíferos continúan presentándose, no obstante los decretos de regímenes de veda existentes desde hace varias décadas. En consecuencia, las restricciones legales para nuevos alumbramientos han sido insuficientes para propiciar su recuperación, o incluso para estabilizarlos. Es ostensible la existencia de un exceso de concesiones de extracción, con relación a la capacidad renovable del acuífero.

---

<sup>3</sup> Por contraposición a un ciclo de 4-5 años, por caso, cuyos efectos serían susceptibles de revertirse.

Las cuencas hidrológicas, potenciadas por la existencia de presas, enfrentan demandas crecientes de agua, al tiempo que sectorialmente, prevalece una sobreconcesión de ésta a favor de usuarios agrícolas. La situación anterior se ve agravada, debido a variaciones climáticas, así como a una demanda creciente de sectores económicos no agrícolas aunada al crecimiento de la población misma, todo lo cual contribuye a una demanda insatisfecha.

Tanto en el caso de acuíferos como en cuencas hidrológicas, existe un exceso de demanda de agua con relación a la oferta disponible. En consecuencia, la sobreconcesión se convierte en común denominador en ambos casos.

Por otra parte, en México es persistente la ausencia de tratamiento de efluentes urbanos e industriales, redundando en la contaminación de acuíferos, la degradación de la calidad de éstos, y por ende, afectando el agua potable de la que son fuente. Las cuencas hidrológicas, a su vez, se deterioran por el vertido de desechos incontrolados.

El presente trabajo se avoca a proporcionar un marco, en primer término, de la naturaleza y carácter conceptual de un acuífero. Posteriormente, se revisa el desempeño del acuífero de Caborca de 1986 a la fecha. Más tarde, se evalúan los determinantes de la extracción de agua con respecto a la superficie cosechada y a la cantidad de electricidad utilizada, por una parte. Por otra, se estima la cantidad de electricidad en función a su vez del área cosechada y del precio de la electricidad. En la última parte, se efectúa una estimación económica de la sobreexplotación acuífera para Caborca.

## **ACTIVO AMBIENTAL NO PRODUCIDO Y DERECHOS DE PROPIEDAD**

Por principio, todo acuífero constituye un activo ambiental no producido.<sup>4</sup> Es decir, no es resultado de procesos productivos y, por ende, no son ni han sido parte del producto nacional de un país; en consecuencia, no se registran en el mismo. Sin embargo, constituyen premisa indispensable para todo acto productivo.

En cuanto a la configuración general de la existencia de un acuífero así como de los antecedentes legales que dan pie a su explotación, se hacen una serie de breves referencias a la naturaleza de dicho acervo en tanto proceso de flujo en la producción. Para ponerlo en marcha, dados los derechos de propiedad en vigor, la federación puede otorgar una concesión para el uso de un acuífero, siempre y cuando no esté sobreexplotado. Bajo esta última situación, se impone una veda consistente en no autorizar nuevas concesiones. Es decir, se espera no agravar su sobreexplotación, sin que se establezcan medidas para la reducción de extracciones o al menos, para estabilizar el acuífero. En este sentido, las vedas constituyen una manera de mantener e incluso permitir un deterioro de dicha situación, en tanto no se toman otras medidas que aseguren la sustentabilidad del acuífero. Es decir, no se establecen premisas para garantizar una solución a la sobreexplotación.

Los usuarios de determinado acuífero sobreexplotado pueden tomar acción conjunta para limitar las extracciones por iniciativa propia, con el fin de revertir un proceso de minado. Medidas aplicadas para preservar dicho activo responderían al hecho de que se trata de un usufructo colectivo e indivisible.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Ejemplo de otros bienes ambientales no producidos son el aire y el suelo.

<sup>5</sup> Dada la naturaleza del acuífero, la posible acción abusiva de uno de los usufructuarios del mismo, además de ser nocivo para sí como usuario conjunto, lo es para los demás.

La sobreexplotación merma la sustentabilidad del recurso natural y mina su naturaleza en tanto activo ambiental.<sup>6</sup> Por ejemplo, un acuífero está sobreexplotado cuando las extracciones son sistemáticamente superiores a su recarga, produciéndose un saldo negativo,<sup>7</sup> una ecuación entre extracción y recarga, lo estabilizaría. Es decir, no se seguiría abatiendo. La reconstitución a su nivel original, requeriría que la recarga cubriera, por una parte, las extracciones. Adicionalmente, se requeriría un flujo adicional para restituir el minado y retornar a su nivel estático inicial. En síntesis, de no interrumpirse el exceso de extracciones, el acuífero transita hacia un proceso de degradación cuantitativa y a su extinción operativa.<sup>8</sup>

En tanto activo ambiental de interés público, el acuífero es propiedad federal. Por ende, representando a la sociedad, el gobierno ejerce el derecho de otorgar, limitar y revocar permisos para el uso privado del activo. La trasgresión al derecho de uso puede convertirse en causal de revocación. La sobreexplotación de un acuífero, más allá de las declaraciones de veda, pone de manifiesto la ausencia de equilibrios naturales o espontáneos que deriven en estabilización o incluso recuperación de acuíferos. Dada la necesidad de regular dicho activo, el interés público debería predominar sobre el privado, materializado en la acción gubernamental. De esta manera, el interés público se convierte en garante del desarrollo económico de la colectividad a la que representa. Los activos ambientales vienen a constituir, material y legalmente, un bien formalmente de la sociedad. Sin embargo, la reforma energética promulgada en México,<sup>9</sup> legitima la fractura hidráulica para la explotación de gas de esquisto.<sup>10</sup>

---

<sup>6</sup> De acuerdo al Servicio Geológico de Estados Unidos, por sustentabilidad se entiende el desarrollo y uso de agua subterránea de manera que pueda ser mantenido por un periodo indefinido de tiempo, sin causar consecuencias ambientales, económicas o sociales inaceptables (Alley *et al.*, 1999).

<sup>7</sup> En este caso, el uso del recurso ambiental es sustituido por su abuso.

<sup>8</sup> El estancamiento del agua en estratos inferiores, la morfología y densidad del material rocoso en la base del yacimiento, así como las profundidades a alcanzar para su bombeo, vuelven física y económicamente inviable su explotación previa a su agotamiento.

<sup>9</sup> Agosto 11, 2014.

<sup>10</sup> Aparentemente, en la costa noroccidental de México no se han encontrado yacimientos de esta naturaleza. Esto pone a cubierto, por el momento, al acuífero en cuestión por lo que toca a sobreexplotación adicional o a degradación por el vertido de residuos.

Con ello, la amenaza sobre acuíferos así como a la degradación ambiental derivada, alcanzaría niveles sin precedente (AMCF, 2014).

Dentro de los lineamientos de contabilidad nacional establecidos por Naciones Unidas,<sup>11</sup> se elaboran las Cuentas Económicas y Ecológicas de México.<sup>12</sup> Dichas estimaciones buscan cuantificar el impacto ambiental referido a la degradación del medio ambiente. Específicamente, dichas cuentas estiman costos por agotamiento de agua subterránea, así como de contaminación de agua por descargas de agua residual. Este último sería un costo por degradación. En este sentido, se diferencia entre el desgaste del capital fijo de activos producidos y el correspondiente al agotamiento de los recursos naturales. Esto permite obtener un producto interno bruto con ajuste ambiental.<sup>13</sup>

Entre otros objetivos, el presente trabajo estima el producto agrícola no sustentable para un acuífero en particular. Es decir, determinar la producción tanto en términos de valor agregado como de consumo intermedio no susceptible de resarcirse.

## **ACUÍFERO DE CABORCA. UN CASO DE SOBREEXPLOTACIÓN**

Dentro de los acuíferos sobreexplotados de Sonora, Caborca ocupa el segundo lugar en cuanto a volúmenes extraídos por arriba de la recarga del acuífero,<sup>14</sup> con 88.3 hm<sup>3</sup>,<sup>15</sup> solamente rebasado por el acuífero Costa de Hermosillo (181 hm<sup>3</sup>).<sup>16</sup> El índice de sobreexplotación alcanza 1.72 en este último caso y 1.41 en el caso de Caborca.<sup>17</sup> En consecuencia, por cada

---

<sup>11</sup> United Nations (2014).

<sup>12</sup> INEGI (2013).

<sup>13</sup> También denominado producto interno bruto ecológico.

<sup>14</sup> Dichos volúmenes resultan de restar el volumen concesionado de aguas subterráneas (*vcas*), así como la descarga natural comprometida (*dnc*), de la recarga (*r*) del acuífero. El índice referido expresa la velocidad en el abatimiento del cuerpo subterráneo.

<sup>15</sup> Conagua (2010).

<sup>16</sup> Conagua (2009).

<sup>17</sup> Dicho índice se define como:  $(vcas+dnc)/r$ .

1.44 m<sup>3</sup> extraídos en Caborca, solamente un metro cúbico es sustentable. Es decir, 0.44 m<sup>3</sup> redundan en detrimento del acervo hídrico del acuífero. En la medida en que persiste la sobreexplotación, el descenso en el nivel estático del acuífero continúa en aumento. Ambos acuíferos están sujetos por la propia sobreexplotación al fenómeno de intrusión salina, dada su localización costera, en la margen oriental del Golfo de California.

El acuífero de Caborca, está localizado en la costa norte del estado de Sonora, dentro del extremo noroeste del macizo continental mexicano. Dicho distrito se abastece de agua del acuífero en el cual está asentado. El uso principal del referido acuífero es el riego agrícola. El acuífero constituye la base misma del Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca.

**Mapa 1. Localización del Acuífero de Caborca**



Fuente: Conagua (2010).



En octubre 18 de 1962, se emite un decreto de veda o reserva, con lo cual se constituye en zona reglamentada. Este ordenamiento precede en seis años a la creación del referido distrito de riego.<sup>18</sup>

En 1994, se conforma la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 037 (ASUDIR), con base en el marco legal existente.<sup>19</sup> Formalmente, esta agrupación se constituye con el fin de coadyuvar y participar en la explotación, uso o aprovechamiento racional de dicho recurso, buscando preservar la cantidad y calidad de la misma.

Con base en estudios hidrológicos, en 1975 se estimó que la capacidad de recarga del acuífero sería de 300 hm<sup>3</sup> (IMTA, 2003). Toda demanda adicional estaría implicando una sobreexplotación, y por ende un minado del activo. Sin embargo, estudios recientes han ubicado dicho nivel en 212.9 hm<sup>3</sup> (Conagua, 2010).

El bombeo del hídrico se efectúa a partir de energía eléctrica. Por ende, los niveles de precios de ésta, pueden constituir una política que incide de manera directa en los volúmenes extraídos.

De 1987 a 1990, años en que el distrito de riego 037 era operado por el gobierno federal, se registró un descenso en extracciones de 570 hm<sup>3</sup> a 366 hm<sup>3</sup>.<sup>20</sup> En el periodo 1990 a 1993, las referidas extracciones se estabilizan alrededor de los 400 hm<sup>3</sup>, repuntando a 719 y 771 hm<sup>3</sup> en 1994 y 1995, respectivamente.

---

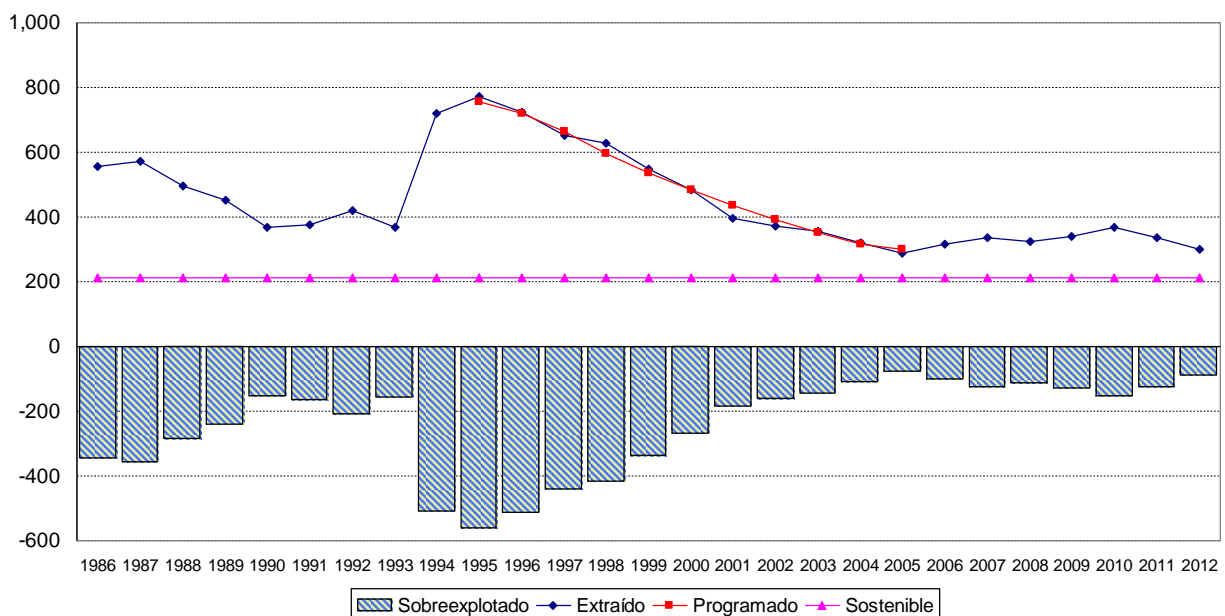
<sup>18</sup> DOF (1968).

<sup>19</sup> Ley de Aguas Nacionales, promulgada el 12 de enero de 1994.

<sup>20</sup> Esta información y la subsiguiente, relativa a los volúmenes de extracción en el Distrito 037, proviene de Conagua (varios años).

De acuerdo al IMTA (2003), con la constitución de la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 037 (ASUDIR) en enero de 1994, se establece un programa para reducir anualmente las extracciones de 771 hm<sup>3</sup> reportados en el año 1995 a 300 hm<sup>3</sup> en 2005, coincidente con el nivel de recarga del acuífero en aquel entonces.<sup>21</sup> Ahora bien, la información estadística oficial registra un volumen extraído de 369 hm<sup>3</sup> en 1993, repuntando a 719 hm<sup>3</sup> en 1995. Según el objetivo programado y los niveles de recarga prevalecientes, en el año 2005 se lograría un equilibrio, igualando extracciones con la recarga estimada. Cabe aclarar en que, posterior a la estabilización, hasta en tanto no se extrajeran niveles inferiores a la recarga mencionada (300 hm<sup>3</sup>), el acuífero no estaría recuperando volúmenes de agua. Es decir, no se iniciaría su restitución como activo ambiental. Los fenómenos de reducción en el nivel estático, así como de intrusión salina en pozos costeros podrían continuar estando presentes.

**Gráfica 1. Acuífero de Caborca. Parámetros de extracción de agua 1986-2012 (Hm<sup>3</sup>)**



Fuente: Estimado con base en CONAGUA.

<sup>21</sup> El volumen concesionado documental en aquel entonces era de 798 hm<sup>3</sup>. Al transferirse la operación del gobierno federal a los usuarios, la acción formal aparente fue la de restituir en un 96.6% la dotación original. Si este fue el caso, la sobreexplotación habría experimentado un crecimiento inusitado, como primera acción acordada por la asociación de usuarios.

En los años 2001 y 2002, incluso las cifras oficiales (Conagua, varios años), reportan extracciones por debajo de los niveles acordados. En contraste con los datos previamente consignados, en 2001, el IMTA (2003) estimó niveles de extracción en  $550 \text{ hm}^3$ , mientras, el distrito de riego 037 reportó haber utilizado solamente  $397 \text{ hm}^3$ . De acuerdo a esta información, los datos oficiales estarían subestimando las extracciones en un 27.82%.

Con la determinación de una recarga a un nivel de  $212.9 \text{ hm}^3$ , la sobreexplotación deviene en un fenómeno persistente. Incluso, de 2006 a 2010, las extracciones se elevaron de 290 a  $367 \text{ hm}^3$ . De acuerdo al último dato disponible, éstas se sitúan en  $301 \text{ hm}^3$ . Bajo esta perspectiva, pareciera que el grado de sobreexplotación ha entrado en una zona de persistencia atenuada, a juzgar por los periodos previos. A este respecto, Cáñez Navarrete (2004) confirma que las acciones llevadas a cabo desde la transferencia del distrito de riego por parte de Conagua, incluyendo la gestión de ASUDIR, no han sido suficientes para estabilizar el acuífero. En lugar de buscar un equilibrio entre extracciones y recarga, afloran planteamientos de rehabilitación y modernización.

A continuación, se busca establecer relaciones funcionales que contribuyan a explicar el comportamiento del acuífero, a través de relaciones tanto técnicas como económicas que se juzgan fundamentales. Posteriormente, se estima el efecto económico tanto en la generación de valor como en el consumo intermedio, referido al agotamiento del acuífero.

## **AGUA, ELECTRICIDAD Y SUPERFICIE COSECHADA**

Con el propósito de establecer el comportamiento del nivel de extracciones, se examina el efecto que tiene la cantidad de energía eléctrica, así como la superficie regada, ambos en el agua extraída.

$$\ln e = f(\ln ar_{cos}, \ln q_{elec}) \quad (1)$$

donde  $e$  se refiere a los volúmenes de agua extraídos,  $ar_{cos}$  al área cosechada y  $q_{elec}$  a la cantidad de electricidad utilizada y  $\ln$  expresa su forma logarítmica. Se espera que el área cosechada registre un valor positivo e inferior a la unidad. Es decir, que el rendimiento del agua extraída sea creciente con respecto a la superficie cosechada. Esto sería resultante de un aumento en la eficiencia de bombeo. Alternativamente, lo contrario obedecería a un abatimiento en las láminas de riego. En síntesis, una mayor eficiencia en el uso del agua con respecto a la superficie cosechada pudiera estar involucrada tanto con la eficiencia operativa de los equipos de extracción, como con la utilización de técnicas de cultivo ahorradoras de agua, o bien, con la introducción de cultivos que demandan una menor cantidad del recurso hídrico. Por otra parte, se espera que la cantidad de electricidad registre un valor positivo y superior a la unidad. Es decir, que se logre un rendimiento creciente del agua extraída con respecto a la cantidad de electricidad utilizada.

Al estimar la ecuación 1 con el método econométrico de corrección de error para el Distrito de Riego de Caborca en el periodo de 1992 a 2012, la cantidad de energía eléctrica con respecto al área cosechada registra un coeficiente de elasticidad positivo y ligeramente menor a la unidad (0.92) en el largo plazo, así como positiva y unitaria (1.00) en el corto plazo.<sup>22</sup> En consecuencia, en este último plazo, el coeficiente de la extracción del agua con respecto a la superficie cosechada expresa un rendimiento constante a escala. Solamente en el largo plazo expresa un rendimiento creciente, si bien modesto.<sup>23</sup>

La elasticidad de la demanda de electricidad con respecto a la superficie cosechada es positiva e inelástica en el largo plazo (0.63), con el mismo signo si bien elástica (0.95) en el corto plazo.

---

<sup>22</sup> En ambos casos, con un año de rezago.

<sup>23</sup> Coeficientes superiores a la unidad, que no es el caso, pondrían en evidencia un retroceso manifiesto.

En consecuencia, el rendimiento del agua extraída con respecto a la cantidad de energía eléctrica es decreciente, particularmente en el largo plazo. En el corto plazo redunda en rendimientos modestamente decrecientes. Esto puede deberse a una menor eficiencia relativa en el bombeo de agua. Alternativamente, puede obedecer a un abatimiento creciente en el nivel estático del acuífero, con lo cual se necesitarían cantidades adicionales de energía eléctrica para abstraer una misma cantidad de agua. Esto último, se observa particularmente en el largo plazo, lo que pudiera reforzar la segunda alternativa esbozada.<sup>24</sup>

**Cuadro 1. Extracción de agua en función del área cosechada y de la energía eléctrica. 1992-2012 (Coeficientes de elasticidad)**

plazos	<i>ln e</i>	
	<i>largo</i>	<i>corto</i>
<i>ln ar<sub>cos-1</sub></i>	0.92 (3.75) <sup>***</sup>	
$\Delta \ln ar_{cos-1}$		1.00 (2.68) <sup>**</sup>
<i>ln q<sub>elec</sub></i>	0.63 (1.77) <sup>*</sup>	
$\Delta \ln q_{elec}$		0.95 (3.95) <sup>***</sup>
<i>resid<sub>.1</sub></i>		-0.81 (-4.01) <sup>***</sup>

Nota. Valores de t entre paréntesis.

Significancia. ( )<sup>\*\*\*</sup>: 99%; ( )<sup>\*\*</sup>: 95%; ( )<sup>\*</sup>: 90%.

Fuente: Anexo 3.

En síntesis, se observan rendimientos constantes a escala del agua extraída con respecto a la superficie cosechada en el corto plazo, y modestamente crecientes en el largo plazo. Por lo que

<sup>24</sup> Reyes Martínez *et al.* (2009) comentan incidentalmente en torno a las mayores necesidades de energía eléctrica asociadas a pozos cada vez más profundos, con referencia al acuífero de Caborca.

se refiere a la eficiencia en el uso del agua, esta decrece con respecto a la cantidad de electricidad utilizada, modestamente en el corto plazo, pero marcadamente en el largo plazo.

## **ELASTICIDAD PRECIO DE LA ELECTRICIDAD Y EXTRACCIÓN DE AGUA**

Dada la persistencia en la sobreexplotación en el distrito de riego referido, se plantea una ecuación indicando la respuesta al precio de dicha energía, así como el total de la superficie cosechada.

$$\ln q_{elec} = f(\ln ar_{cos}, \ln v_{elec} / p_{agr} / q_{elec}) \quad (2)$$

donde  $q_{elec}$  se refiere a la cantidad de electricidad utilizada para bombeo agrícola,  $ar_{cos}$  alude al área agrícola cosechada,  $v_{elec}$  es el valor de la electricidad utilizada,  $p_{agr}$  es el índice de precios de la producción agrícola y  $q_{elec}$  es la cantidad demandada de electricidad y  $\ln$ , su expresión en logaritmos. La segunda expresión del miembro derecho corresponde al precio de la electricidad, ajustado por inflación con un índice de precios agrícolas. El signo del área cosechada indicaría si existen economías de escala en el uso de la electricidad con respecto a la superficie cosechada. Por ende, se esperaría un signo positivo e inferior a la unidad. Se asume que se obtendrá un signo negativo en la segunda variable independiente, pues ante reducciones en el precio de la energía eléctrica, los productores agrícolas podrían demandar más cantidad de dicho fluido.

En cuanto a resultados en la expresión 2, la elasticidad de la superficie cosechada con respecto a la cantidad de energía eléctrica es positiva y elástica, tanto en el largo (0.84), como en el corto (0.92) plazos para el periodo 1992-2012. Esto implica a que cambios en la superficie cosechada redundan en un cambio en la electricidad demandada, si bien esta última en menor proporción. En consecuencia, se registra un rendimiento creciente de la electricidad con

respecto al área cosechada, un tanto mayor en el largo plazo, comparado con el correspondiente al corto plazo.

**Cuadro 2. Electricidad en función del área cosechada y del precio de la energía eléctrica. 1992-2012 (Coeficientes de elasticidad)**

	<i>ln q<sub>elec</sub></i>	
	<i>largo</i>	<i>corto</i>
<i>ln ar<sub>cos</sub></i>	0.84 (12.10) <sup>***</sup>	
$\Delta \ln ar_{cos}$		0.92 (6.04) <sup>**</sup>
<i>ln v<sub>elec</sub>/p<sub>agr</sub>/q<sub>elec</sub></i>	-0.51 (-6.89) <sup>***</sup>	
$\Delta \ln v_{elec}/p_{agr}/q_{elec}$		-0.72 (-5.97) <sup>***</sup>
<i>resid<sub>.1</sub></i>		-1.21 (-5.28) <sup>***</sup>

Nota. Valores de t entre paréntesis.

Significancia. ( )<sup>\*\*\*</sup>: 99%; ( )<sup>\*\*</sup>: 95%; ( )<sup>\*</sup>: 90%.

Fuente: Anexo 3.

La elasticidad de la electricidad con respecto al precio es negativa e inelástica en el largo plazo (-0.51), pero con mismo signo y cercana a la elasticidad en el corto plazo (-0.72). Este último coeficiente de largo plazo sugiere la posible efectividad de una política de precios de la energía eléctrica para reducir o hacer más eficiente el uso del fluido.

Resumiendo lo aquí expuesto, se logra una eficiencia en el uso de la electricidad con respecto a la superficie cosechada, en mayor grado por lo que se refiere al largo plazo. Asimismo, el precio de la electricidad es negativo y diferente a cero en cuanto a su efecto en la cantidad demandada del energético. Específicamente, se observa un coeficiente elástico en el corto plazo. Esto plantea, en principio, la posibilidad de instrumentar políticas de precio para el bombeo agrícola induciendo técnicas en el ahorro en la cantidad de agua utilizada.

Los coeficientes referidos a la elasticidad precio de la demanda de electricidad están dentro de los niveles altos, comparados los reportados por la literatura. Schoengold *et al.* (2006) obtienen un coeficiente de -0.79. Howitt *et al.* (1980) reportan un coeficiente de -0.46. Por su parte, Nieswiadomy (1988) encuentra un coeficiente de elasticidad de -0.25. Dinar y Letey (1991), se pronuncian resueltamente por introducir incrementos en las tarifas de electricidad para riego con el fin de abatir su consumo. Por contraste, Moore *et al.* (1994) sostienen que no merece la pena modificar el precio de la electricidad, considerando lo subsidiada que suele estar, para obtener respuestas por demás reducidas en la cantidad demandada.

### **SOBREEXPLOTACIÓN ACUÍFERA. UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA**

A continuación, se desarrollan algunos planteamientos con respecto a un acuífero en términos generales.<sup>25</sup> Considerando que éste constituye un activo ambiental, y por ende de interés público, su uso está circunscrito a:

$$e \leq r \quad (3)$$

donde  $e$  representa las extracciones y  $r$  constituyen la recarga. Ahora bien, cuando:

$$e > r \quad (4)$$

el acuífero está siendo físicamente sobreexplotado. En consecuencia, los usuarios están incurriendo en un costo que deviene externalidad negativa,<sup>26</sup> calculada de la siguiente manera:

$$va_{ns} = va_{tot} * (e - r) / e \quad (5)$$

Aquí,  $va_{ns}$  es el valor agregado no sustentable,<sup>27</sup>  $va_{tot}$  es el valor agregado total, incluyendo tanto el sustentable como el no sustentable. La recarga está indicada por  $r$ , y las extracciones por  $e$ .

---

<sup>25</sup> El presente análisis no opera para una cuenca hidrológica.

<sup>26</sup> Una externalidad negativa surge cuando agentes económicos al producir o al consumir, afectan negativamente a terceros, sin remediar físicamente o compensar económicamente por el daño causado.

<sup>27</sup> Generado con el volumen de agua sobreexplotado.



En consecuencia, el consumo intermedio requerido para obtener el valor de la producción referido,<sup>28</sup> se puede clasificar en una porción sustentable, del siguiente modo:

$$ci_{ns} = ci_{tot} * (e - r) / e \quad (6)$$

De este modo, se calcula el monto del consumo intermedio involucrado en la generación de la externalidad negativa correspondiente. En consecuencia, una parte del producto agrícola es obtenido con cargo a volúmenes de agua no renovables, al tiempo que los productores no resarcan a la federación, en este caso, de la externalidad negativa en la que incurren. Esta, a su vez, diferenciando tanto por lo que corresponde al valor agregado como al consumo intermedio.

Ahora bien, la efectividad de una política de recuperación se da en tanto:

$$e < r \quad (7)$$

posterior al costo incurrido por sobreexplotación. Si una política para incidir positivamente en el acuífero se constriñe a:

$$e = r \quad (8)$$

estará en fase de estabilización, lo cual supone un uso como tal del acuífero. No se estará incurriendo en costos ambientales adicionales, derivados del abuso del activo.<sup>29</sup> Tampoco se estaría recuperando el activo hacia su nivel inicial.<sup>30</sup> Para recuperar íntegramente el acuífero posterior a su estabilización, sería necesario establecer restricciones adicionales, cuyo flujo futuro acumulado restituya el acervo original.

---

<sup>28</sup> No se considera el rubro de consumo de capital fijo, por cuestiones ulteriores de disponibilidad de información. Sin embargo, su naturaleza es indispensable en un análisis completo del proceso de producción.

<sup>29</sup> Los costos ambientales considerados en el presente documento se refieren exclusivamente a volúmenes sobreexplotados en términos cuantitativos. Se ignora el posible deterioro de la calidad del agua y su remediación. Por ejemplo, agroquímicos, intrusión salina o subsidencia del terreno.

<sup>30</sup> Existente antes del surgimiento de la sobreexplotación.

Bajo las consideraciones antes mencionadas, se efectúa una estimación para el ciclo agrícola 2011-2012.<sup>31</sup> Considerando 301.2 hm<sup>3</sup> utilizados para la producción agrícola, solamente 212.9 hm<sup>3</sup> corresponden a extracciones sustentables, correspondiendo a un 70.7% del total. Un volumen de 88.3 hm<sup>3</sup>, equivalente al 29.3%, fue con cargo al abatimiento del acuífero, generando una externalidad negativa.

Al deducir que el valor agregado total correspondiente fue de 4,545.3 millones de pesos, solamente 3,213.1 fueron sustentables. Una porción equivalente al 29.3% redundó en una externalidad negativa, la cual independientemente de que no es remediada, tampoco es compensada por los productores, en tanto agentes causales del efecto deletéreo.

**Cuadro 3. Distrito de Riego Alatar-Pitiquito-Caborca. Volumen de agua, valor agregado y sustentabilidad de la producción. 2011-2012**

	Volumen de agua (millones hm <sup>3</sup> )	Valor agregado (millones \$)	Consumo intermedio (millones \$)	Participación (%)
Total	301.2	4,545.3	792.4	100.0%
Sustentable	212.9	3,213.1	560.1	70.7%
No sustentable	88.3	1,332.2	232.2	29.3%

Fuente: Anexo 3.

En cuanto al consumo intermedio no sustentable, el distrito de riego Altar-Pitiquito-Caborca, demandó de manera externa al exterior de dicho ámbito de producción, un consumo intermedio por 792.4 millones de pesos en forma de materias primas y auxiliares. Solamente la utilización de 560.1 millones de pesos fue sustentable. Es decir, se están demandando 232.2 millones de pesos del resto de la economía, mismos que redundan en el ciclo referido, en un deterioro del acervo hídrico subterráneo.

<sup>31</sup> Véase Cuadro 3.

Tanto el valor agregado reportado como el consumo intermedio, entrañan un valor de la producción por demás heterogéneo.<sup>32</sup> Plantear que se ha efectuado una reconversión agrícola,<sup>33</sup> i.e., cuando los cereales antes referidos ocuparon una superficie de 13.7% del total,<sup>34</sup> pareciera que dicha acción de reconversión dista de haber concluido.

Las estimaciones previas buscan proporcionar un término de referencia de los efectos económicos derivados de la sobreexplotación de un acuífero. Las extracciones en exceso están incidiendo en el agotamiento de un recurso no producido ni producible. Dicho valor agregado así como el consumo intermedio involucrado muestran su no sustentabilidad, al estar asociados con una producción no reproducible. Es una producción derivada de una destrucción paulatina de la base productiva en la que se finca el propio acuífero. Dicha destrucción es susceptible de preservarse, o de reducirse. Dado el papel que tiene para el desarrollo productivo regional, así como para alcanzar una sustentabilidad ambiental y económica, es que se efectúa el presente ejercicio.

---

<sup>32</sup> Por ejemplo, el cociente entre el valor agregado del cártamo y el trigo con relación al volumen de agua es en ambos casos de 1.4 pesos. Compárese lo anterior con un cociente superior a 30 pesos para vid, o cercano a 50 pesos con pepino, al tiempo que en el caso del ajo fue de 163 pesos (Anexo 3).

<sup>33</sup> Dicha reconversión alude a sustituir cultivos de bajo valor por otros de alto valor, por ejemplo, con respecto al volumen de agua utilizado.

<sup>34</sup> De acuerdo al Anexo 2.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Alley, William M., Thomas E. Reilly y O. Lehn Franke** (1999) *Sustainability of ground water resources* U.S. Geological Survey Circular 1186. United States Geological Service. Denver

**AMCF** (2014) *Principales problemas identificados con la explotación de gas de esquisto por fractura hidráulica [fracking]* Alianza Mexicana Contra el Fracking. Fundar et al. México <http://nofrackingmexico.org/wp-content/uploads/2014/06/DOC.pdf> [agosto 1, 2014]

**Cáñez Navarrete, Nancy Araceli** (2004) *A una década de la transferencia de los distritos de riego en México: el caso de Altar-Pitiquito-Caborca, en Sonora, 1994-2002* Tesis de Maestría. El Colegio de Sonora. Hermosillo

**Conagua** (varios años) *Superficies regadas y volúmenes de agua distribuidos en los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. México

**Conagua** (2009) *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 2619 Costa de Hermosillo, estado de Sonora* Comisión Nacional del Agua. México. Agosto

**Conagua** (2010) *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 2605 Caborca, estado de Sonora* Comisión Nacional del Agua. México. Mayo

**Conagua** (2014) *Estadísticas del agua en México. 2013*. Comisión Nacional del Agua. México

**Dinar, Ariel y John Letey** (1991) Agricultural water marketing, allocation efficiency, and drainage reduction *Journal of Environmental Economic Management* 20(3) pp. 210-223

**DOF** (1968) *Diario Oficial de la Federación*. Agosto 5

**Howitt, Richard E., William D. Watson, Richard M. Adams** (1980) A reevaluation of price elasticities for irrigation water *Water Resources Research* 16(4) pp. 623-628

**INEGI** (2013) *Sistema de cuentas nacionales de México. Cuentas económicas y ecológicas de México 2007-2011. Año base 2003*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México

**IMTA** (2003) *Estudio socioeconómico productivo de la propuesta de tecnificación al DR 037 Altar Pitiquito Caborca, estado de Sonora* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec. Diciembre

**Moore, Michael R., Noel R. Gollehon y Marc B. Carey** (1994) Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: The role of water price. *American Journal of Agricultural Economics* 76 pp. 859-874

**Nieswiadomy, Michael L.** (1988) Input substitution in irrigated agriculture in the high plains of Texas, 1970-1980 *Western Journal of Agricultural Economics* 13(1) pp. 63-70

**Pulido Bosch, Antonio** (2001) Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible, en *Problemática de la gestión del agua en regiones semi-áridas* (A. Pulido Bosch, J.M. Calaforra Chordi et. al., eds). Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería. Almería pp. 115-132

**Reyes Martínez, Amelia y María Luisa Quintero Soto** (2009) Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora *Revista unam.mx* 10(8) Agosto 10  
[www.revista.unam.mx/vol.19/num8/art51/int51-4.htm](http://www.revista.unam.mx/vol.19/num8/art51/int51-4.htm) [julio 21, 2014]

**Rodríguez-Estrella, Tomás** (2004) Sobreexplotación de acuíferos y desertificación en el Sureste Español en *Aridez, Salinización y Agricultura en el Sureste Ibérico* (A. Gil Orcina, A. Morales Gil et. al., coords.) Fundación Ramón Areces y Fundación Instituto EuroMediterráneo de Hidrotecnia. Madrid. pp. 105-134

**Schoengold, Karina, David L. Sundig y Georgina Moreno** (2006) Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function *Water Resources Research* 42 W09411, doi:10.1029/2005WR004096

**United Nations** (2014) System of Environmental-Economic Accounting 2012. Central Framework. United Nations et. al. Nueva York

PÁGINAS ELECTRÓNICAS

[www.asudir037.com.mx](http://www.asudir037.com.mx) [junio 12, 2014]

[www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx) [julio 22, 2014]

[www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx) [julio 2, 2014]

[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx) [julio 20, 2014]

[www.usgs.gov](http://www.usgs.gov) [julio 22, 2014]

## ANEXO 1

### Cuadro A.1. Resultados estadísticos

#### *Ecuación 1*

##### Largo plazo

$$\ln e = 0.92 \ln ar_{\cos} + 0.63 \ln q_{\text{elec}} - 6.99 c$$

(3.75)<sup>\*\*\*</sup>
(1.77)<sup>\*</sup>
(-4.42)<sup>\*\*\*</sup>

$R^2_{aj} = 0.80$      $D.W. = 1.08$      $C. Akaike = -0.77$      $n = 1992-2012$

##### *Corto plazo*

$$\Delta \ln e = \Delta \ln 1.00 ar_{\cos} + \Delta \ln 0.95 q_{\text{elec}} - 0.81 \text{resid.}_1 + 0.02 c$$

(2.68)<sup>\*\*</sup>
(3.95)<sup>\*\*\*</sup>
(-4.01)<sup>\*\*\*</sup>
(0.80)

$R^2_{aj} = 0.57$      $D.W. = 1.97$      $C. Akaike = -1.25$      $n = 1993-2012$

#### *Ecuación 2*

##### Largo plazo

$$\ln q_{\text{elec}} = 0.84 \ln ar_{\cos-1} - 0.51 \ln v_{\text{elec}}/p_{\text{agr}}/q_{\text{elec}} - 2.02 c$$

(12.09)<sup>\*\*\*</sup>
(-6.90)<sup>\*\*\*</sup>
(-3.20)<sup>\*\*\*</sup>

$R^2_{aj} = 0.88$      $D.W. = 2.32$      $C. Akaike = -2.90$      $n = 1992-2012$

##### Corto plazo

$$\Delta \ln q_{\text{elec}} = 0.92 \Delta \ln ar_{\cos-1} - \Delta 0.72 \ln v_{\text{elec}}/p_{\text{agr}}/q_{\text{elec}} - 1.21 \text{resid.}_1 - 0.003 c$$

(6.04)<sup>\*\*\*</sup>
(-5.97)<sup>\*\*\*</sup>
(-5.28)<sup>\*\*\*</sup>
(-0.25)

$R^2_{aj} = 0.82$      $D.W. = 1.80$      $C. Akaike = -2.95$      $n = 1993-2012$

## ANEXO 2

**Cuadro A.2. Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca. Cultivos Agrícolas  
 Superficie, Valor de la producción, valor agregado y volúmenes de agua. 2011-2012**

	Superficie cosechada	Valor de la producción	Valor agregado	Volumen de agua
	(has)	(miles \$)	(miles \$)	(miles m <sup>3</sup> )
<b>TOTAL</b>	<b>23,306.0</b>	<b>5,337,635</b>	<b>4,545,270</b>	<b>301,171</b>
<b>Otoño-Invierno</b>	<b>3,398.0</b>	<b>68,381</b>	<b>43,691</b>	<b>31,095</b>
Cártamo	927	14,535	10,932	7,996
Trigo grano	2,271	50,246	29,422	21,149
Rye grass	200	3,600	3,337	1,950
<b>Primavera-Verano</b>	<b>1,237</b>	<b>183,654</b>	<b>124,278</b>	<b>4,692</b>
Melón	670	130,650	85,007	2,532
Ajo	12	17,766	11,726	72
Pepino	89	14,908	12,151	258
Calabaza	48	8,179	6,908	248
Sorgo grano	199	3,582	2,385	796
Remolacha azucarera	10	2,120	1,791	100
Sorgo forrajero verde	90	1,782	443	344
Sandía	30	1,452	1,342	60
Frijol asociado	35	1,313	1,061	70
Otros cultivos	42	1,048	786	188
Ejote	10	657	532	20
Chile verde	2	198	147	4
<b>Perennes</b>	<b>18,671</b>	<b>5,085,600</b>	<b>4,377,300</b>	<b>265,384</b>
Vid mesa	6,770	3,249,360	3,148,484	84,312
Espárrago	7,299	1,604,463	1,026,856	105,052
Olivo	1,820	141,921	116,375	27,865
Alfalfa	1,844	59,192	46,777	35,322
Nogal	536	16,201	12,960	7,596
Naranja	160	5,120	4,188	2,635
Otros frutales	42	2,633	2,107	295
Otros forrajes en verde	142	2,428	1,943	1,641
Durazno	41	2,122	1,740	505
Dátil	7	1,764	15,558	74
Ciruelo	6	296	231	48
Higo	4	99	81	40

Fuente: Estimado con base en Conagua (sin fecha).



### ANEXO 3

A partir del valor agregado estimado para cada cultivo, implícito en el cuadro A.2, se determina la parte del valor de la producción correspondiente al primero. Asimismo, se obtienen los volúmenes utilizados por cultivo, proporcionados por Conagua (varios años). Tomando el distrito de riego en cuestión como un todo y habiendo determinado un porcentaje de sobreexplotación en función de los niveles de recarga, se estima tanto la porción sustentable como la no sustentable.