

Adopción de tecnología de riego para el uso sustentable del recurso hídrico en México

Adopting Irrigation Technology for the Sustainable Use of Water Resources in Mexico

RESUMEN

La introducción de la tecnología de riego por goteo o microaspersión es fundamental para reducir la sobreexplotación del agua en México. Una vez seleccionadas la tecnología, la producción y la superficie cultivada, las variaciones en su precio impactarán muy poco la demanda en el corto plazo, e incentivarán de manera poco significativa la incorporación de riego tecnificado. El presente estudio mide la relación entre el precio del agua y el cambio en la adopción de tecnología de riego, e identifica las variables que coadyuvan a una diversidad de alternativas para los productores en cuanto al uso racional del recurso destinado a las actividades agrícolas. Finalmente, se determina si el esquema de precios de energía eléctrica para uso agrícola distorsiona los incentivos de ahorro, suponiendo que origina un retraso en el cambio tecnológico y, por lo tanto, en la actual sobreexplotación del recurso hídrico.

Palabras clave: precios, agua, electricidad, cambio tecnológico, sobreexplotación hídrica.

ABSTRACT

The introduction of drip-irrigation or micro-sprinkler technology is essential for reducing water overuse in Mexico. Once the irrigation technology, crop, and surface-area cultivated are selected, variations in their price will have little impact on short-term demand and provide little incentive for incorporating technological irrigation. This study measures the relationship between the price of water and the change in adopting irrigation technology. It identifies the variables aiding a range of alternatives for producers regarding the rational use of the resource earmarked for agricultural activities. Finally, it assesses whether the electrical-power pricing plan for agricultural use distorts savings incentives, supposing that it leads to a delay in technological change and, therefore, to the present-day overuse of water resources.

Keywords: prices, water, electricity, technological change, water overuse.

*Profesor-investigador del Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, flocih@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 asume como premisa básica la búsqueda del Desarrollo Humano Sustentable; es decir, que todos los mexicanos tengamos una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras (México. Presidencia de la República, 2007). En este contexto, el adecuado manejo y preservación del agua cobra un papel fundamental dada su importancia en el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación de la riqueza ecológica de México. Para lograr este propósito se consideran una serie de objetivos que permitirán en el mediano y largo plazos alcanzar las metas propuestas por el Estado. Entre las mismas se encuentra la de mejorar la productividad del agua en el sector agrícola.

El principal uso agrupado del agua en México es el agrícola. De acuerdo con el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 2007), el último disponible a nivel nacional, la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.22 millones de hectáreas, de las cuales 18% era de riego y el resto de temporal. A pesar de su superficie sustancialmente menor, la agricultura de riego genera más de la mitad de la producción agrícola del país.

66 Con base en el Censo, la superficie sembrada anualmente oscila entre 20 y 23 millones de hectáreas, y el rendimiento en toneladas por hectárea bajo riego es de 2.2 a 3.6 veces mayor que en la superficie de temporal. México posee una importante infraestructura de riego, la sexta a nivel mundial en términos de superficie, con 6.46 millones de hectáreas; 70% de las exportaciones agrícolas es producido por la agricultura bajo riego y concentra 80% de la mano de obra agrícola.

Es importante señalar que 77% del agua que se utiliza en México se emplea en la agricultura; que la disponibilidad es escasa en amplias zonas del territorio y que la eficiencia en el uso del agua en la actividad de riego es baja (Montecillo y Puchet, 2000).

Según la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2004) la modernización y tecnificación del riego permitirían incrementar la productividad del agua en 2.8% anual. Al reducir los volúmenes empleados en el riego, como resultado de la introducción de tecnología, se deberán ajustar los títulos de concesión en función de la disponibilidad del líquido, ya que existen fuentes de abastecimiento que han sido rebasados por la demanda de este recurso; tal es el caso de diversos acuíferos que están severamente sobreexplotados.

En gran parte de México las fuentes subterráneas de agua son muy importantes y, en muchos casos, constituyen la única forma de abastecimiento.

La sobreexplotación de los acuíferos es uno de los problemas más importantes en el manejo de las aguas subterráneas del país, y se define como la condición sostenida de mayor extracción que la recarga de los mismos.

LA SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS

Existe una importancia manifiesta en el volumen utilizado por los usuarios de agua en el país, ya que aproximadamente 37%—30.1 miles de millones de m³/año al 2009— del concesionado para usos consuntivos, proviene de aguas subterráneas, resultando un grave problema de sobreexplotación de acuíferos. A partir de la década de los setenta, ha venido aumentando su número: 32 en 1975; 36 en 1981; 80 en 1985; 97 en 2001; y 100 en 2009 (Conagua, 2011). De éstos se extrae 53.6% del agua subterránea para todos los usos. De acuerdo con Conagua, un acuífero se convierte en sobreexplotado, o deja de serlo, en función de la relación extracción/recarga.

La sobreexplotación de los acuíferos se refleja en el aumento gradual tanto de sus profundidades estáticas, como de sus profundidades dinámicas; por lo tanto, el aumento de la profundidad del bombeo ha provocado problemas ambientales y problemas económicos: incremento de los costos de operación por concepto de energía eléctrica, al tenerse que extraer el agua de mayores profundidades y, de igual forma, incremento de los costos de mantenimiento. Como consecuencia, los altos costos en pozos cada vez más profundos, repercute en la baja rentabilidad de la actividad agrícola y la baja productividad del volumen de agua empleado (Reyes, 1995).

De mantenerse esta situación, el vaciado de los acuíferos implicará una reducción gradual de la oferta de agua subterránea por el aumento en los costos de extracción y el deterioro de su calidad, y podría generar severas limitaciones en el uso futuro de este recurso. Específicamente, podría dejar de ser rentable la agricultura de riego por bombeo en aquellas áreas donde los niveles de bombeo sean más profundos y, además, se continúen abatiendo con rapidez.

Los impactos sociales de este problema se agudizan debido a que 56% de la población en continuo crecimiento se concentra actualmente en las áreas del norte y centro del país,¹ las cuales generaron más de 65% del PIB en el año 2011 y concentran cerca de 75% de las hectáreas de riego.

¹ La zona norte incluye Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Durango; la zona centro del país incluye Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas, Morelos, México y Distrito Federal.

LA DESVINCULACIÓN DEL PRECIO DEL AGUA CON EL USO SUSTENTABLE

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2010) cada hogar debe destinar 4 por ciento de sus ingresos para el servicio de agua potable. En México las tarifas son muy bajas, y no reflejan los costos de extracción y suministro. Esta situación distorsiona el comportamiento de los usuarios ante la limitación de la calidad y disponibilidad del agua.

El desperdicio del agua en el riego agrícola se vincula con las bajas tarifas pagadas por los usuarios, la evaporación natural, las regaderas de filtración que son de tierra, la falta de limpieza de las acequias y con las deficiencias en los sistemas de riego (Mejía *et. al*, 2002). Es importante que, ante esta serie de factores, el productor agrícola se encuentre capacitado para que conozca los mecanismos de mantenimiento en los sistemas de riego de sus parcelas. Aunado a lo anterior, existen insuficiencias en la tarifa del agua por parte de las autoridades, lo que redundará en su uso indiscriminado.

“Actualmente –afirma la Comisión Nacional del Agua– la mayoría de las tarifas son insuficientes para cubrir los costos de operación y financiamiento de los organismos, lo que, sumado a los problemas que puedan presentarse en la facturación y la cobranza, ocasiona deficiencias en la prestación de servicios y la recurrencia al no pago por parte de los consumidores” (Conagua, 2006). El precio del agua debe incidir en las pautas de consumo, en la planeación y gestión de la infraestructura, de manera que se asignen los requerimientos del agua de acuerdo a las demandas individuales y sectoriales.

68

El reconocimiento de los fenómenos de sobreexplotación, contaminación de fuentes superficiales y profundas, y deterioro de lagos, ríos y aguas costeras nos sitúa ante una disyuntiva: dejar las cosas como están o reestructurar nuestras actuales pautas de gestión gubernamental y uso social del agua agrícola.

Por otro lado, las disposiciones institucionales para responder al consecuente incremento de la demanda de agua son inadecuadas. Su precio, así como el precio de la electricidad para bombear agua subterránea, no reflejan la escasez. Por ende, México enfrenta una “crisis hídrica” que incluye la sobreexplotación de 100 de los 653 acuíferos, lo que representa más de la mitad de la extracción de agua subterránea en el país.

La Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2008) estima que la extracción de agua subterránea representa casi 40% de su uso total; y su valor, bajo estas condiciones en lo que se refiere únicamente a la producción agrícola, se

calcula en más de 1.2 mil millones de dólares, o 0.2% del Producto Interno Bruto (PIB). El agotamiento de muchos acuíferos lleva a un racionamiento no basado en el precio y no regulado, causando una distorsión en el crecimiento de las regiones económicas más dinámicas de México.

A pesar de que ciertos procesos de irrigación se orientan hacia la aplicación de tecnologías para ahorrar agua, el avance es limitado y gran parte de la mezcla de cultivos continúa siendo la misma debido a que los precios, tanto de la electricidad como el del agua, aún propician la falacia de que este recurso es abundante, y la infraestructura de irrigación no es suficiente como para permitir que los agricultores hagan el cambio a cultivos especializados.

Es más, los productores agrícolas se benefician de las bajas tarifas de electricidad para el bombeo de agua, por lo que no tienen motivación para cambiar sus prácticas (Ojeda, 2000). Por lo tanto, el sobrebombeo se convierte en una práctica cotidiana, por lo que, en muchos casos, esta conducta redundante en intrusión de agua salada. Por otro lado, la carga financiera que los subsidios de electricidad imponen a la sociedad —representan casi 700 millones de dólares al año— son únicamente una fracción del costo económico total, ya que la degradación ambiental no ha sido considerada.

Respecto al cobro de derechos de agua en el sector agropecuario, el Artículo 224 en su Fracción IV de la Ley Federal de Derechos establece que “no se pagará el derecho, por usos agropecuarios, incluyendo los distritos y unidades de riego, así como la junta de agua, con excepción de las aguas usadas en la agroindustria, hasta por la dotación autorizada a los distritos de riego por la Comisión Nacional del Agua o, en su caso, hasta por el volumen concesionado” (México. Cámara de Diputados, 1981).

Se establece claramente que el sector agrícola no paga derechos por consumo de agua. Tampoco se aplica el cobro por abastecimiento de agua potable a pequeñas comunidades. Además, la electricidad para bombeo está subsidiada. Este subsidio induce aún más al desperdicio y al manejo ineficiente del agua en este sector. Los precios medios de las tarifas eléctricas muestran una clara estructura diferencial.

En el Registro Público de Derechos de Agua (Repda), se tienen registrados los volúmenes concesionados, o asignados, a los usuarios de aguas nacionales. En dicho registro se tienen clasificados los usos del agua en 12 rubros, mismos que para fines prácticos se han agrupado en cinco grandes grupos. Cuatro que corresponden a usos consuntivos: el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas; y el hidroeléctrico que se

contabiliza aparte por corresponder a un uso no-consuntivo (Conagua, 2008).

El mayor volumen concesionado para usos consuntivos² del agua es el que corresponde a las actividades agrícolas, debido a que México es uno de los países con mayor infraestructura de riego en el mundo.

La importancia del agua del subsuelo queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios: cerca de 37% –28.9 miles de millones de m³/año– del volumen total concesionado para usos consuntivos es de este origen (Conagua, 2011); mientras 63% para el mismo uso proviene de fuentes superficiales: ríos, arroyos y lagos (Conagua, 2010).

USO AGRÍCOLA DEL AGUA

Del total de la superficie cultivada en México, con base en el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, 82% es de temporal y 18% de riego (INEGI, 2007); esta composición es positiva para el país, si se compara con 84% y 16% de temporal y riego, respectivamente, del promedio mundial.

70 La producción agrícola que se genera en parcelas dotadas con infraestructura de riego es, aproximadamente, 55% de la producción total nacional, el resto se produce en superficies de temporal. De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en la agricultura se utiliza 83% del consumo total de agua en el país, y se pierde entre 30% y 50% del recurso por bajas eficiencias de conducción y por falta de incorporación de tecnología de riego por parte de los productores; de aquí se desprende la necesidad de establecer un mecanismo de adopción de tecnología que permita realizar un manejo adecuado del agua (Ortíz, 1997).

El riego tiene primordial importancia en el sistema productivo y alimentario de México, ya que, aproximadamente, 66% del territorio se caracteriza por pertenecer a zonas áridas y semiáridas (Conagua, 2009), lo que equivale a decir que dependen de manera directa de las precipitaciones pluviales de verano concentradas en unos cuantos meses. Esta situación plantea el reto de generar herramientas públicas que permitan a los productores incorporar tecnología de riego, con el objetivo de maximizar los rendimientos de la dotación superficial y/o subterránea que dispongan.

² Con base a la Ley de Aguas Nacionales (México. Cámara de Diputados, 1992), el “uso consuntivo” se refiere al volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad determinada que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga.

Ante el aumento de la superficie de riego a nivel mundial, y la creciente escasez del agua,³ los consumidores y organismos nacionales que administran este recurso, deben cambiar la forma en que se valora y utiliza, tanto en su nivel de movilización –transporte–, como en su diversidad de usos.

La forma directa de regular y controlar el nivel de consumo de agua para actividades agrícolas, no debe limitarse a su cobro. Independientemente de que el cobro dependa de costos de distribución, uso de tecnología, eficiencia social o sustentabilidad es posible establecer un precio en los insumos utilizados en el proceso de producción agrícola. En este punto adquiere relevancia la energía eléctrica como recurso esencial en el uso regulado y controlado del agua. Además, los precios de energía eléctrica pueden generar incentivos para incorporar tecnología de riego que permita un uso racional y sustentable del recurso hídrico.

LOS PRECIOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL CAMPO

La sostenida sobreexplotación de agua subterránea en México plantea serios retos para el desarrollo económico y social. El suministro y fijación de precios de la energía eléctrica son fuerzas primarias que impulsan el bombeo para el riego; las políticas para atender la problemática de sobreexplotación deben concentrarse en los vínculos entre el agua y la energía.

Con tarifas relativamente bajas por kilowatt-hora y fácil acceso a las conexiones –aún para los pozos no registrados– son escasos los factores disuasivos que llevarían a los agricultores a limitar la extracción.

Aún cuando en términos absolutos la extracción anual de 28 kilómetros cúbicos de agua subterránea en México es modesta en comparación con países como la India: 150 Km³, China: 90 Km³, y Pakistán: 45 Km³, si se toman en cuenta las hectáreas irrigadas, equivale casi al doble por hectárea de la extracción en la India, lo cual explica la obtención de rendimientos de cultivos más altos por hectárea y el rápido agotamiento del agua subterránea en regiones donde la agricultura es importante (Kishore *et al.*, 2000).

La electricidad es la principal fuente de energía para el bombeo de agua subterránea en México; el uso de motores diesel se limita a bombear a poca altura el agua proveniente de fuentes abiertas. Desde comienzos de los años

³ Para una explicación más amplia de la creciente escasez del agua a nivel mundial se considera necesario remitirse al trabajo de Barker *et al.*, 2000.

sesenta, la cantidad de conexiones eléctricas para la agricultura –98.8% son para bombas de riego; las restantes rurales se atribuyen a uso doméstico, industrial, etcétera– se ha elevado en promedio 7.65% al año (Reséndiz-Núñez, 2004).

La demanda intensiva de energía para el bombeo de agua subterránea está concentrada en el centro y noroeste del país. Estados como Guanajuato, Zacatecas, Chihuahua y Sonora concentran la mayor parte de las conexiones eléctricas agrícolas y de la demanda total de energía agrícola; no obstante, la demanda está aumentando rápidamente en el sureste (Castelán, 2000).

En las decisiones que toman los agricultores respecto al nivel de producción y, por tanto, en la demanda de agua de los cultivos sembrados, influyen mucho los costos y las utilidades (Silva-Ochoa, 2000). Siguiendo un criterio económico de la toma de decisiones, deberán adoptar un comportamiento conservacionista cuando el costo del agua aumente hasta alcanzar un nivel cercano a su valor marginal.

Cuando los costos y las utilidades no concuerdan, la elasticidad de la demanda permanece baja y los aumentos adicionales de los precios tienen poca o ninguna influencia en la demanda. Esto es lo que sucede con el agua subterránea en muchas regiones, en donde los estudios han demostrado que las láminas aplicadas al mismo cultivo regado con agua superficial o subterránea son esencialmente las mismas (Donahy y Ortiz, 2001), a pesar del hecho de que el costo del líquido subterráneo es aproximadamente el triple que el de la superficie.

72 Los límites de la expansión de la superficie regada con agua superficial están por supuesto determinados por su escasez, lo que da como resultado la disminución o el agotamiento en las presas. Por otro lado, el agua subterránea representa una fuente mucho mayor de abastecimiento y la demanda ilimitada da como resultado el aumento de la superficie regada con ella y, por extensión, la sobreexplotación.

La gran diferencia entre los costos fijos y los variables de un pozo determina una respuesta específica del comportamiento de quienes bombean agua subterránea. Con el fin de recuperar la elevada inversión de capital, la tendencia es maximizar el volumen que se bombea.

Un resultado muy real, a menudo ignorado, del aumento de la eficiencia del riego con agua subterránea es que la superficie total irrigada por cada pozo se incrementa como consecuencia de los esfuerzos realizados por los agricultores para recuperar su inversión.

La única forma real de reducir la extracción es aplicar el criterio de eficiencia: regar la misma superficie con costos variables de bombeo más bajos y optar por cultivos de menor demanda de agua.

Un procedimiento eficaz que puede inducir a conservar el agua, o proporcionar incentivos para hacerlo, incluye la fijación de precios y el suministro de energía, lo que nos lleva al ámbito de la elasticidad de la demanda. De hecho, reducir la demanda de agua a través del manejo del abastecimiento de energía eléctrica implica: restricciones en conexiones nuevas, topes de capacidad o amperaje, y reducciones de horas en el suministro de energía.

El régimen de tarifas eléctricas, para pozos de uso agrícola, puede servir como un factor disuasivo suficientemente poderoso para que la cantidad de usuarios que solicitan conexiones nuevas no sea significativa.

La determinación de las tarifas eléctricas destinadas al sector agropecuario se rige por cuatro cargos que dependen del nivel de consumo, y no por criterios de eficiencia productiva y competitividad económica. Además, no atienden al concepto de uso racional del recurso hídrico para el caso de la tarifa destinada a actividades de bombeo de agua de alta y mediana tensión para la agricultura (Tortajada, Guerrero y Sandoval, 2004).

Los subsidios a la energía eléctrica han distorsionado el mercado y, por lo tanto, no han permitido el desarrollo eficiente del sector. La política de subsidios se establece a través de precios de electricidad bajos. Inicialmente los subsidios beneficiarían a los cultivos básicos: maíz, frijol y soya. La política actual de subsidios a la electricidad para actividades agropecuarias distorsiona la actividad agrícola, induce a una ineficiencia en la asignación de recursos e implica, también, un peso mayor para las finanzas públicas del gobierno federal.

Por lo anterior, se hace necesario definir mecanismos adicionales a los comúnmente aplicados al sector, dejando atrás el paradigma de establecer precios altamente subsidiados. El análisis de las características tecnológicas del productor es una herramienta para identificar las posibles estrategias de política a seguir.

En el siguiente apartado se realiza una estimación econométrica para identificar las regiones hidrológicas que presentan una mayor probabilidad de adoptar tecnologías. La finalidad sería indicar, espacialmente, aquellas regiones en las cuales existe una disposición mayor a incorporar paquetes de tecnologías diferentes a las convencionales –riego por gravedad– que permitan un uso más eficiente del agua.

ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA DE RIEGO

El modelo que se presenta fue adoptado del planteamiento de Iván Islas (2004), con la incorporación de la variable tarifa eléctrica en sus dos modalidades, mediana y alta tensión. A diferencia del modelo y resultados ya obtenidos a partir del análisis de las trece regiones hidrológicas, en el presente caso se omitieron las gerencias regionales de Frontera Sur y Península de Yucatán por falta de datos disponibles.

Se toman, como referencia, algunos modelos utilizados para explicar la adopción de tecnología de riego, tales como los de Cason y Uhlaner (1991), Zilberman y Caswell (1985 y 1986), y Green, Sunding y Zilberman (1996). En la mayoría de estos modelos, los distintos autores utilizaron un modelo Probit como principal herramienta econométrica, ya que es el modelo más útil para explicar las teorías de adopción y difusión de tecnología.

Un modelo Probit es aquel que se utiliza para explicar un hecho cualitativo donde se explica un resultado binario. Se trata de una regresión lineal múltiple con una variable endógena binaria que recibe el nombre de Modelo de Probabilidad Lineal (puesto que la probabilidad de respuesta medida por los parámetros es lineal):

$$P(y = 1/x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

74

El objetivo del modelo es explicar los efectos de las variables x_j sobre la probabilidad de éxito cuando $P(y=1/x)$ o fracaso cuando $P(y=0/x)$. Para fines de esta investigación la probabilidad de éxito se refiere a la de adoptar una tecnología de mayor eficiencia al sistema de riego por gravedad; es decir, la probabilidad de adoptar riego por aspersión, microaspersión y goteo, la cual dependerá de ciertas variables independientes x_1 a x_k . La variable de interés para determinar si existe una relación entre el precio del agua y la tecnología de riego, es la de costo de bombeo, que se emplea como proxy para el precio del agua de uso agrícola.

A medida que el agua escasea el costo del bombeo se incrementa; esto se debe al aumento en el esfuerzo para bombear y el tiempo de uso de energía eléctrica. De esta misma manera es como Moore *et al.* (1994) calculó la demanda de agua en el oeste de Estados Unidos para el consumo agrícola.

En este estudio se incluyen las variables de costos e ingresos totales de acuerdo con el modelo usado por Cason y Uhlaner (1991); otros factores que

explican los costos y beneficios de adoptar cierta tecnología son los de localización, tipo de cultivo y si el agua es superficial o de pozo (Caswell y Zilberman, 1985). La variable del tipo de cultivo no se incluye debido a que la unidad de análisis puede utilizar distintos cultivos a la vez. Sin embargo, otra variable que se relaciona con el ingreso o riqueza es el tamaño de la superficie cosechada. Un factor más que determina el tipo de cultivo seleccionado es el requerimiento de riego ponderado para controlar el consumo de agua por cultivo. Como última variable se agrega el volumen concesionado de agua para saber si los agricultores toman en cuenta la disponibilidad del recurso al momento de adoptar una nueva tecnología de riego. Se estimó la intensidad y dirección de la relación que guarda cada una de estas variables con la probabilidad de cambiar de tecnología de riego a una más eficiente en el uso del agua.

La variable localización se clasificó en 11 gerencias regionales para determinar si la escasez de agua en distintas regiones provoca un aumento de la probabilidad de adopción de tecnología superior de riego –reducción en el consumo de agua. Los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, la base de datos proviene del Sistema de Evaluaciones de Unidades de Riego Sisevur 3.0, y cuenta con 369 observaciones de las diversas entidades de la República Mexicana.

Del total de unidades productivas, se observó que el porcentaje para los que no cambiaron de sistema de riego fue de 78.6%, y de 21.4% para aquellos que sí lo hicieron. De los agricultores que cultivaron más de una vez fue de 12.5%, y 87.5% para quienes sólo tuvieron primeros cultivos.

Las unidades que cambiaron de tecnología presentan, en promedio, mayor superficie cultivada, costos totales, valor de la producción, requerimiento ponderado neto y volumen total extraído, que todas aquellas unidades que se mantuvieron con riego por gravedad. La diferencia promedio de la tarifa eléctrica no es significativa, pero para el precio del agua sí se observa un promedio mayor y significativo para todos aquellos productores que sí cambiaron de tecnología.⁴ Se comprobó que la mayoría de los productores que adoptaron tecnología de riego se encuentran en las Gerencias Regionales de la Península de Baja California, y del Pacífico Norte, Río Bravo y Golfo Norte.

La probabilidad de adopción más alta de tecnología se encuentra en las gerencias de Cuencas Centrales del Norte, Pacífico Norte, Golfo Centro y

⁴ La significancia estadística de la diferencia de las medias se probó mediante EVIEWS 4.0; la variable de precio de agua es significativa hasta 5%.

CUADRO 1

PROMEDIO DE LAS VARIABLES CON BASE EN EL CAMBIO DE TECNOLOGÍA DE RIEGO			
Variable	No cambió	Cambió	Promedio muestral
Tarifa eléctrica (Pesos/Kwh)	0.3952	0.3865	0.3933
Precio del agua*	0.2886	0.2126	0.2723
Volumen concesionado (miles de m ³)	479.6199	811.6516	550.7053
Superficie cultivada (hectáreas)	38.5435	49.3487	40.8568
Costos totales (miles de pesos)	375.3261	659.2825	436.1189
Valor de la producción (miles de pesos)	888.3431	1115.7070	937.0200
Requerimiento ponderado neto (miles de m ³)	206.0079	291.1146	224.2285
Volumen total extraído (miles de m ³)	346.1580	473.0566	373.3998

*El precio del agua observado se calculó mediante costos totales de energía/volumen total extraído (pesos/m³)
Fuente: elaboración propia con base en datos de Sistema de Evaluaciones de Unidades de Riego Sisevur 3.0.

CUADRO 2

GERENCIAS REGIONALES Y ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA DE RIEGO					
Gerencia Regional	No cambió	Cambió	Probabilidad de cambiar	Min	Max
Balsas	9.66	8.97	0.19	0.04	0.75
Cuencas Centrales del Norte	1.03	6.41	0.61	0.26	0.79
Golfo Centro	0.69	1.28	0.33	0.31	0.34
Golfo Norte	9.66	11.54	0.25	0.04	0.71
Lerma Santiago Pacífico	12.07	10.26	0.18	0.02	0.42
Noroeste	11.03	7.69	0.16	0.01	0.93
Pacífico Norte	5.86	14.10	0.39	0.24	0.95
Pacífico Sur	6.21	5.13	0.17	0.02	0.39
Península de Baja California	13.10	21.79	0.31	0.07	0.57
Río Bravo	25.86	11.54	0.10	0.01	0.43
Valle de México	4.83	1.28	0.07	0.002	0.16
Total	100%	100%	0.21	0.002	0.95

Fuente: elaboración propia con base en datos de Sistema de Evaluaciones de Unidades de Riego Sisevur 3.0.

76

Península Baja California. Esto se debe a la disponibilidad de agua de las regiones.

Así, la gerencia Balsa cuenta con el segundo mayor volumen concesionado, requerimiento de riego ponderado neto y superficie cultivada. Cuenta también con el mayor volumen total de extracción de agua. La gerencia de Cuencas Centrales del Norte registra el mayor precio, lo cual está vinculado con la disponibilidad del recurso hídrico –se encuentra entre las tres últimas gerencias con disponibilidad de agua.

La Golfo Norte cuenta con el mayor volumen concesionado, además aplicar la segunda mayor tarifa eléctrica, valor de producción y volumen total extraído. Por otra parte, la gerencia Noroeste registra los segundos mayores costos totales, mientras que la Pacífico Norte presenta las tarifas eléctricas más altas y el segundo mayor precio de agua.

CUADRO 3

VALORES MEDIOS DE LAS VARIABLES DEL MODELO POR GERENCIA REGIONAL								
Gerencia Regional	Tarifa_e	Precio_agua	Vol_con	Grandes	Costos	Valp	Reqr	Vte
Balsas	0.339	0.1327	1207.657	53.85	721.37	1469.67	358.25	623.82
Cuencas Centrales del Norte	0.337	0.4382	231.922	35.01	317.12	646.61	122.55	240.18
Golfo Centro	0.375	0.1173	200.2	23.33	263.66	879.00	121.93	308.52
Golfo Norte	0.420	0.2271	1676.414	50.54	560.65	2026.01	308.61	545.4
Lerma	0.354	0.2330	331.091	42.56	544.70	1006.41	205.31	278.76
Santiago Pacífico								
Noroeste Pacífico	0.354	0.1957	558.522	53.39	809.15	1043.59	286.15	526.74
Norte Pacífico Sur	0.433	0.4120	405.532	46.00	234.27	429.47	153.91	297.74
Península Baja	0.406	0.1474	170.876	30.59	261.78	609.38	121.41	259.33
California	0.416	0.2264	274.88	33.49	322.05	666.78	233.79	327.42
Río Bravo	0.424	0.3928	246.175	26.28	191.07	263.72	133.86	251.61
Valle de México	0.346	0.3591	591.962	69.79	708.87	2859.31	417.69	490.74

Tarifa_e = tarifa eléctrica; Vol_con = volumen concesionado; Grandes = superficie cultivada; Valp = valor de la producción; Reqr = requerimiento de riego ponderado neto y Vte = volumen total de extracción de agua.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Sistema de Evaluaciones de Unidades de Riego Sisevur 3.0.

Por último, la gerencia del Valle de México presenta los mayores costos totales: valor de la producción, superficie cultivada y requerimiento de riego ponderado neto, en otras palabras, es la región donde se encuentran los cultivos intensivos en agua.

El análisis probabilístico se resume en el cuadro 4, los datos obtenidos de las regresiones incluyen el coeficiente y el estadístico *t* que se presenta entre paréntesis. De ser significativa la variable, se indica con asteriscos en donde uno representa significancia de 10%, dos de 5% y tres de 1%. Todas las regresiones tienen estadísticos robustos de heterocedasticidad. Las dos primeras regresiones tienen como propósito mostrar el cambio en la probabilidad de adopción de tecnología de riego como respuesta a cambios en el precio del agua, medido por la tarifa eléctrica (columnas 1 y 2). Las dos siguientes regresiones (columnas 3 y 4) utilizan una variable *proxy* del precio del agua que es el costo total de energía/volumen extraído, expresado en pesos por metro cúbico. La primera regresión indica que las variables que afectan el cambio de tecnología de riego son la tarifa eléctrica, el tipo de aprovechamiento y los

costos totales. Si se incrementa en un centavo la tarifa eléctrica, el cambio en la probabilidad de adopción disminuye en 50.4%. Esto indica que una política de precios eléctricos que incentive un uso menor del agua, a partir de un incremento del precio, no es adecuado si el objetivo es incorporar nuevas tecnologías de riego.

Una razón para explicar este resultado se refiere a que al cambiar de sistema de riego de gravedad por aspersión, los costos esperados de energía aumentan por el incremento en el consumo que se debe a la presurización del agua por el nuevo sistema. Por otra parte, las unidades que cuentan con un tipo de aprovechamiento de planta de bombeo de agua aumentan la probabilidad de adoptar sistema de riego presurizado en 16.1%, en su contraposición al pozo profundo. Otra variable significativa, pero de bajo impacto económico son los costos totales. Un aumento de mil pesos en los costos totales de cultivo aumenta la probabilidad de adoptar una mejor tecnología en 0.01%. Lo anterior indica que los instrumentos que permitirán incrementar la probabilidad de adopción de tecnología, deben vincularse con el aprovechamiento de los productores agrícolas que ya poseen un sistema de riego diferente al riego por gravedad, y unidades de producción relacionadas con los costos de producción.

78

En cuanto a la localización, en las gerencias regionales de Cuencas Centrales del Norte, Pacífico Norte y Península de Baja California aumentan la probabilidad de cambiar en 47.4, 30.1 y 20.4% respectivamente. Esto indica que a menor disponibilidad de agua, mayor es la probabilidad de adoptar una tecnología de riego más eficiente.

En la segunda regresión, se introdujeron variables dicotómicas que tienen por objeto buscar el umbral de las variables continuas donde éstas pueden ser significativas. Se observó que a niveles bajos de volumen concesionado (menor a 60 millares de m^3) aumenta la perspectiva de cambio con una probabilidad de 23%. Esto significa, que algunas unidades productivas toman en cuenta la escasez relativa en el proceso de toma de decisiones de sistema de riego.

Sin embargo, se encontró que algunos productores con superficies más grandes (mayores de 100 hectáreas), disminuye la probabilidad de cambiar de tecnología en 16%. En el mismo sentido, a niveles bajos de requerimiento ponderado de agua –menores de 50 mil m^3 –, disminuye la probabilidad en 14.5%; esto es porque no existe la necesidad de ahorrar agua y por ende de cambiar de sistema de riego. Finalmente, se encontró que el subsidio a la energía deja de ser significativo al introducir las variables del umbral.

CUADRO 4

RESULTADOS DEL MODELO DE PROBABILIDAD

Variables	Dprobit (1)	Dprobit (2)	Dprobit (3)	Dprobit (4)
Tarifa_e	-0.504 * (1.72)	-0.481 (1.58)	-	-
Precio_agua	-	-	-0.233 ** (1.91)	-0.194 * (1.65)
Vol_con	-2.90e-07 (0.05)	-	-9.31e-08 (0.01)	-
Bajo_volcon	-	0.230 ** (2.24)	-	0.190 * (1.88)
Superficie_c	-0.0004 (0.56)	-	-0.0003 (0.51)	-
Grandes	-	-0.165 ** (2.27)	-	-0.163 *** (2.15)
Rotot	-0.064 (0.95)	-0.077 (1.23)	-0.055 (0.83)	-0.069 (1.11)
Tipo	0.161 * (1.83)	0.214 *** (2.43)	0.131 (1.52)	0.177 * (2.02)
Costos	0.0001 ** (3.01)	0.0001 *** (3.84)	0.0001 *** (3.13)	0.0001 *** (3.89)
Valp	-0.00002 (1.38)	-0.00002 (1.45)	-0.00002 (1.40)	-0.00002 (1.45)
Reqr	0.00004 (0.36)	-	0.00001 (0.15)	-
Bajo_reqr	-	-0.145 *** (2.42)	-	-0.145 *** (2.59)
R_balsas	0.0023 (0.02)	-0.004 (0.05)	-0.001 (0.02)	-0.0006 (0.01)
R_cuencascen	0.474 *** (2.49)	0.576 *** (2.94)	0.555 *** (2.83)	0.636 *** (3.12)
R_golfoc	0.291 (1.07)	0.300 (1.10)	0.233 (0.87)	0.242 (0.91)
R_golfon	0.083 (0.82)	0.058 (0.56)	0.050 (0.53)	0.028 (0.30)
R_lermasp	-	-	-	-
R_noroeste	-0.052 (0.59)	-0.067 (0.82)	-0.055 (0.64)	-0.070 (0.87)
R_pacificon	0.301 *** (2.48)	0.327 *** (2.64)	0.287 *** (2.46)	0.329 *** (2.66)
R_pacificos	0.055 (0.48)	0.080 (0.70)	0.017 (0.16)	0.045 (0.43)
R_peninbj	0.204 ** (2.12)	0.212 ** (2.21)	0.165 * (1.83)	0.169 ** (1.95)
R_riob	-0.047 (0.62)	-0.046 (0.63)	-0.042 (0.57)	-0.045 (0.62)
R_vallem	-0.137 (1.20)	-0.143 (1.34)	-0.133 (1.16)	-0.143 (1.35)
Observaciones	368	368	367	367
Wald chi ²	58.85	67	62.8	63.96
R ²	0.119	0.153	0.125	0.157

Fuente: elaboración propia.

Las dos últimas regresiones se utilizaron para comparar la tarifa eléctrica con una variable *proxy* del precio del agua. La variable precio del agua resulta significativa y con el mismo signo que la del costo de energía, por lo que el

aumento de 0.01 pesos por millar del metro cúbico de agua, disminuye la probabilidad del cambio en 23.3%; es decir, el cambio es mucho menor que con la variable subsidio de energía eléctrica.

En los resultados se observa que el precio del agua y la tarifa eléctrica presentan signo negativo, esto significa que existen otros factores, además de la disponibilidad del agua, que influyen en el cambio de tecnología en estas regiones.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Debido a que los precios del agua en el sector agrícola no reflejan de manera objetiva la disponibilidad del recurso hídrico, es importante encontrar herramientas y estrategias que coadyuven a transmitir señales hacia los productores y el mercado sobre el grado de sobreexplotación que experimenta el insumo.

La política de precios de agua medida a través de los costos de energía, influye en la adopción de tecnología de riego. Gran parte de la adopción de tecnología es explicada por la ubicación geográfica del productor. Las regiones con menor disponibilidad media de agua son las más proclives a un cambio tecnológico. La política de precios puede ser útil para este cambio si se toma en cuenta de manera simultánea la región donde se encuentre el productor.

80 Si se incrementa en un centavo la tarifa eléctrica, el cambio en la probabilidad de adopción disminuye en 50.4%. Esto implica que la política de precios eléctricos no debe considerarse al establecer como objetivo central la incorporación de nuevas tecnología de riego agrícola. Existen componentes de mayor relevancia como la ubicación geográfica, la existencia de sistemas de riego y los costos de los insumos, que inciden en la probabilidad de adoptar un sistema diferente al riego por gravedad.

Derivado del análisis realizado se observó que la gerencia del Valle de México presenta los mayores costos totales, valor de la producción, superficie cultivada y requerimiento de riego ponderado neto; en otras palabras, es la región donde se encuentran los cultivos intensivos en agua.

Al vincular el efecto del recurso tecnológico con la demanda del insumo, el productor agrícola, al contar con equipos de bombeo más eficientes y de mayor potencia, presenta una conducta tendiente a aumentar la demanda de agua.

Se encontró que a menor precio del agua medido por los costos eléctricos o mayores subsidios ocurre un mayor rezago de adopción de tecnología de

riego, debido a que los individuos no tienen incentivos económicos para ahorrar agua por el bajo costo que les representa. La política de precios de este recurso medida a través de los costos de energía, influye de manera negativa en la adopción de tecnología de riego. Gran parte de esta adopción es explicada por la ubicación geográfica del productor.

Las regiones con menor disponibilidad media de agua son las más propensas a un cambio tecnológico. La política de precios no podrá ser útil para el cambio tecnológico si no se toman en cuenta, de manera simultánea, las especificidades de cada región donde se encuentre el productor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burke, John J. (2002), "Groundwater for irrigation: productivity gains and the need to manage hydroenvironmental risk", en Manuel Ramón Llamas y Emilio Custodio (Eds.), *Intensive use of groundwater challenges and opportunities*, Abingdon, UK: Balkema.
- Cason, Timothy N. y Robert T. Uhlner (1991), "Agricultural production's impact on water an energy demand", en *Resource and Energy Economics*, vol. 13, núm. 4, diciembre, pp. 307-321, New Jersey: Elsevier.
- Castelán, Enrique (2000), *Análisis y perspectiva del recurso hídrico en México*, Atizapán de Zaragoza, México: Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua.
- Caswell, Margriet y David Zilberman (1985), "The choice of irrigation technologies in California", en *American Journal of Agricultural Economics*, 224:234.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2004), *Estadísticas del agua en México*, México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2006), *Estadísticas del agua en México*, México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2008), *Estadísticas del agua en México*, México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2009), *Estadísticas del agua en México*, México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2010), *Estadísticas del agua en México*, México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2011), *Estadísticas del agua en México*, México: Semarnat.
- Donath, Eduardo y Gustavo Ortiz (2001), *Bases para la aplicación y establecimiento de las cuotas y tarifas federales de agua*, Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Green, Gareth, David Sunding, David Zilberman y Doug Parker (1996), "Explaining irrigation technology choices: a microparameter approach", en *American Journal of Agricultural Economics*, núm. 78, noviembre, pp. 1064-1072, Milwaukee, WI: American Agricultural Economics Association.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2007), *Censo agrícola, ganadero y forestal 2007*, México: INEGI. Consultado el 27 de octubre de 2010, en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx.
- Islas, Ivan (2004), "Innovation inducement hypothesis for efficient land irrigator technologies in Mexico: an empirical test", tesis de maestría en Economía Ambiental y de los Recursos, Londres: University College London.
- Kishore, Avinashm, Sharma Abhishek, y Scott Christopher A. (2000), *Power supply to agriculture, reassessing the options*, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Mejía Saénz, Enrique, Enrique Palacios Vélez, Adolfo Exebio García y Ana Laura Santos Hernández (2002), *Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riegos*, México: Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales.

- Moore, Michael R., Noel R. Gollehon, and Marc B. Carey (1994), "Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: the role of water price", en *American Journal of Agricultural Economics*, núm. 76, pp. 859-874, Milwaukee, WI: American Agricultural Economics Association.
- México. Cámara de Diputados (1981), "Ley federal de derechos", en *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre, México: Cámara de Diputados.
- México. Cámara de Diputados (1992), "Ley de aguas nacionales", en *Diario Oficial de la Federación*, 1 de diciembre, México: Secretaría de Gobernación.
- México. Cámara de Diputados (2002), *Ley de energía para el campo*, México: Cámara de Diputados. Consultado el 16 de mayo de 2011, en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/246.pdf>
- México. Cámara de Diputados (2012), *Ley del servicio público de energía eléctrica*, México: Cámara de Diputados. Consultado el 5 de noviembre de 2012, en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/99.pdf>.
- México. Cámara de Diputados (2013), *Ley orgánica de la administración pública federal*, México: Cámara de Diputados. Consultado el 21 de enero de 2013, en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/153.pdf>.
- México. Presidencia de la República (2007), *Plan nacional de desarrollo, 2007-2012*, México: Presidencia de la República. Consultado el 23 de septiembre de 2011, en: <http://pnd.presidencia.gob.mx/>
- Montecillo, José Luis y Martín Puchet (2000), "El agua como bien económico y la necesidad de determinar su precio", en *Comercio Exterior*, vol. 50, núm. 3, México: Bancomext.
- Ojeda Bustamante, Waldo y Juan Carlos Herrera Ponce (2000), *Uso eficiente del agua y la energía en sistemas de bombeo*, Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2010), *Pricing water resources and water and sanitation services*, Washington, DC: OECD.
- Ortiz, Gustavo (1997), "La política del agua en México en el marco del desarrollo sustentable", en *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XII, núm. 3, pp. 59-70, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Reséndiz-Núñez, David (Coord.) (2004), *El sector eléctrico de México*, México: CFE-FCE.
- Reyes Ortega, Pedro (1995), *Tarifas óptimas en la extracción de agua. Modelo de juegos discretos y de multiprocesos*, México: CIDE.
- Silva-Ochoa, Paula (2000), *Unidades de riego: la otra mitad del sector agrícola bajo riego en México*, serie Latinoamericana núm. 19, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Tortajada, Cecilia, Vicente Guerrero y Ricardo Sandoval (2004), *Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas*, México: Miguel Ángel Porrúa.
- Zilberman, David y Margriety F. Casweel (1986), "The effects of well depth and land quality on the choice of irrigation technology", en *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 68, núm. 4, pp. 798-811, Cary, NC: Oxford University Press.