

# VALOR ECONÓMICO DEL AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA DE LA COMARCA LAGUNERA

## Economic Value of Water in Agriculture of the Laguna Region

Lucila Godínez-Montoya<sup>1</sup>, José Alberto García-Salazar<sup>1‡</sup>, Manuel Fortis-Hernández<sup>2</sup>, José Saturnino Mora-Flores<sup>1</sup>, Miguel Ángel Martínez-Damián<sup>1</sup>, Ramón Valdivia-Alcalá<sup>3</sup> y Juvencio Hernández-Martínez<sup>1</sup>

### RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal estimar el valor económico del agua para riego de bombeo y gravedad para dar recomendaciones de política que contribuyan a hacer un uso más eficiente del recurso en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. Se hace uso de los conceptos de precio sombra y productividad marginal para estimar el valor económico del agua de riego. Dichos conceptos se calcularon con dos modelos: a) un modelo de programación lineal que asigna recursos escasos (mano de obra, tierra y agua) entre distintas actividades y b) una función de producción que relaciona el beneficio neto de la producción agrícola con el volumen de agua de bombeo y gravedad. Los resultados del modelo de asignación de recursos arrojan un precio sombra de  $\$0.646 \text{ m}^{-3}$  de agua de bombeo y de  $\$0.582 \text{ m}^{-3}$  de agua de gravedad. Para un volumen promedio de 738.97 millones de  $\text{m}^3$  de agua de bombeo, la productividad marginal se estimó en  $\$0.73 \text{ m}^{-3}$ , mientras que, para un volumen promedio de 376.99 millones de  $\text{m}^3$  de agua de gravedad, la productividad marginal fue  $\$0.25 \text{ m}^{-3}$ . Debido a que los valores encontrados son sensiblemente mayores de la cuota que los productores agrícolas pagan por el uso del agua en el distrito, la cual asciende a  $\$0.05 \text{ m}^{-3}$ , se corrobora la existencia de un fuerte subsidio al consumo de agua; por lo tanto, se recomienda un aumento en la cuota pagada por los productores agrícolas de la región.

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (jsalazar@colpos.mx)

<sup>2</sup> Subdirección de Investigación y Graduados Agropecuarios (SIGA), Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10. Torreón, Coahuila, México.

<sup>3</sup> División de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

Recibido: marzo de 2005. Aceptado: agosto de 2006.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 25: 51-59.

*Palabras clave:* precio sombra, productividad marginal del agua, programación lineal, función de producción.

### SUMMARY

The main objective of this study was to estimate the economic value of water for pump and surface irrigation to give policy recommendations that contribute to making better use of this resource in the Laguna region's agriculture. Shadow price and marginal productivity were used to estimate the economic value of irrigation water. These concepts were calculated using two models: a) a linear programming model which assigns scarce resources (labor, land, and water) to different activities, and b) a production function which relates net benefit with pump and surface water volume. The results of the resource assignment model give a shadow price of  $\$0.646 \text{ m}^{-3}$  for pump water and  $\$0.582 \text{ m}^{-3}$  for surface water. For an average volume of 738.97 million  $\text{m}^3$  of pump water, marginal productivity was priced at  $\$0.73 \text{ m}^{-3}$ , while for an average volume of 376.99 million  $\text{m}^3$  of surface water; marginal productivity was  $\$0.25 \text{ m}^{-3}$ . Since the values found are noticeably higher than the fee that farmers pay for water usage in the region, which is  $\$0.05 \text{ m}^{-3}$ , the existence of a large subsidy is corroborated for the use of water; therefore, an increase in the fee that producers pay is recommended.

*Index words:* shadow price, marginal productivity of water, lineal programming, production function.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la intensificación del uso del agua en la agricultura, el crecimiento de la población y el aumento de las necesidades para consumo humano han convertido los recursos hídricos en bienes más escasos y caros (Caballer y Guadalajara, 1998). En

muchos países, la escasez puede condicionar o restringir las actividades de desarrollo e intensificar la competencia entre los usuarios (agricultura, ganadería, industria y ciudades). A escala mundial, en la actualidad, 70% del consumo del agua tiene como destino a la agricultura, no sólo porque la superficie irrigada en el mundo se ha quintuplicado, sino porque no se cuenta con sistemas de riego eficientes. La industria consume 22% y el restante 8% tiene un uso doméstico (UNESCO, 2003).

Muchas regiones del mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que ha originado una sobreexplotación de los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos, creando un fuerte impacto en el ambiente. En México, como en el mundo, la presencia del agua en la naturaleza es importante para mantener el equilibrio de los ecosistemas, en especial cuando se destina al consumo humano y las actividades productivas agrícolas e industriales. Sin embargo, mientras esas actividades crecen aceleradamente, un tema que preocupa a las autoridades mexicanas es el uso racional del recurso pues, debido a las prácticas inadecuadas de consumo, varias regiones hidrológicas del país sufren problemas de disponibilidad y contaminación (PNUMA, 2000).

La Comarca Lagunera (zona donde se localiza el Distrito de Riego 017) es una de las regiones de México donde el agua es un recurso cada vez más escaso, al grado de limitar la actividad económica. En el año 2002, la recarga y la extracción de aguas subterráneas de la región ascendieron a 875 y 1297 millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ), respectivamente, lo cual generó una sobreexplotación del acuífero por  $483 Mm^3$  (CNA, 2002a). Ante el deterioro ambiental que origina una sobreexplotación permanente, los gobiernos municipal, estatal y federal se han interesado, cada vez más, en estudiar la forma en que los diferentes sectores demandantes del recurso podrían hacer un uso más eficiente del agua. Los sectores que, ante una situación de baja disponibilidad, compiten por el uso del recurso son la agricultura, el sector público urbano, la ganadería y la industria, los cuales consumen 91.4, 5.2, 2.3 y 1.1%, respectivamente, del agua total disponible (CNA, 2002a). Esta investigación aborda el estudio del sector agrícola, el cual ocupa el primer lugar en el consumo de agua en la zona.

El crecimiento de la población humana en los núcleos urbanos, el elevado crecimiento de la producción industrial, así como la existencia de un poderoso sector pecuario, han provocado una constante competencia por el uso del agua en la región, donde la escasa

disponibilidad de agua proviene de la extracción de aguas subterráneas y el aprovechamiento de las aguas de los ríos Nazas y Aguanaval.

Las condiciones limitantes se han visto agravadas por la acción del hombre, en la medida en que se ha incurrido en una explotación intensiva del recurso que, combinado con una falta de apego a la normatividad vigente de la política nacional de agua por parte de los Módulos de Riego, el Distrito de Riego 017 y la misma Comisión Nacional del Agua, ha conducido a la situación que, en la actualidad, presenta la disponibilidad del recurso en la región (CNA, 1998).

El diagnóstico del uso del agua en la agricultura de riego en la región es alarmante, se desperdicia más de la mitad del líquido en riego por deficiencias en la conducción y el aprovechamiento. En este distrito, las eficiencias de operación son muy bajas y alcanzan valores de 37%; las causas principales de esta baja eficiencia se relacionan con las características de la red de conducción y distribución del agua, que comprende 2433 km de canales principales y secundarios, así como a la baja eficiencia de aplicación del riego parcelario. Por lo general, los volúmenes de agua aplicados a los cultivos exceden a sus requerimientos. Entre los cultivos de más baja eficiencia de uso del agua, destaca la alfalfa, ya que el volumen de agua aplicado al cultivo es de 2919 mm, cuando sólo se necesitan 1850 mm para cumplir con un ciclo anual de producción. Esta situación también se presenta en nogal, en el cual el uso de agua excede a los requerimientos en 33% (Levine *et al.*, 1998; Fortis-Hernández *et al.*, 2002).

En el sector agrícola de la Comarca Lagunera existe una asignación técnica y económica ineficiente del agua. Aunque se tienen indicios sobre una futura crisis del agua en la región derivada de la escasez, el proceso de contaminación y los efectos del cambio climático, a la fecha, los hábitos de los usuarios no se han modificado sustancialmente para erradicar el desperdicio y lograr que la sociedad y el gobierno otorguen al agua el valor económico, cultural y estratégico que le corresponde.

Fortis-Hernández y Ahlers (1999) sostienen que, en el sector agrícola de la Comarca Lagunera, no existe, o no se paga, un precio que refleje la escasez o abundancia del recurso, y que el Estado ha tomado la decisión deliberada de proveer de agua de riego a los agricultores a una tasa nominal.

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar el valor económico del agua para riego de bombeo y gravedad (el precio sombra y la productividad

marginal) en la Comarca Lagunera, con el fin de determinar el precio que se tendría que pagar en caso de que no se subsidiara el uso del recurso. La hipótesis planteada establece que las cuotas que pagan los productores por el uso del agua son sensiblemente menores del valor económico del recurso; de ahí que sea justificable una política de aumento en los precios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de determinar el precio sombra del agua en las tecnologías de bombeo y gravedad, se usó un modelo de programación lineal de asignación de recursos (tierra, mano de obra y agua) entre las distintas actividades productivas de la Comarca Lagunera. Asumiendo la existencia de  $j(j = 1, 2, \dots, n)$  cultivos e  $i(i = 1, 2, \dots, m)$  recursos usados en la producción, el modelo de programación lineal en su representación matemática puede presentarse de la siguiente forma:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

sujeta a:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \leq b_i$$

$$x_j \geq 0$$

donde:  $x_j$  es el  $j$ -ésimo cultivo,  $c_j$  es el precio neto del  $j$ -ésimo cultivo,  $a_{ij}$  es la cantidad del recurso  $i$  necesario para producir una unidad del cultivo  $j$ , y  $b_i$  es la cantidad del  $i$ -ésimo recurso disponible.

Los cultivos analizados fueron maíz grano, frijol, maíz forrajero, sorgo grano, sorgo forrajero, algodón, melón, sandía, trigo, hortalizas, avena forrajera, zacate ballico, alfalfa y nogal. Los datos utilizados corresponden al ciclo agrícola 2001-2002. Los precios netos se calcularon por diferencia entre el ingreso bruto generado por cultivo y el costo de producción (excluyendo el costo del agua, la mano de obra y la tierra) de cada uno. La función objetivo se sujetó a las siguientes restricciones: 71 952 y 45 381 ha regadas con agua de bombeo y gravedad, respectivamente; 4 076 654 y 2 606 386 jornales de mano de obra en riego por bombeo y gravedad, respectivamente; y 399 y 834 millones de m<sup>3</sup> de agua para riego por gravedad y bombeo,

respectivamente. La información usada en el modelo de programación lineal, como costos de producción, precios, rendimientos, superficies cosechadas, requerimientos de agua por hectárea y requerimientos de mano de obra por hectárea, se obtuvo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 1992-2002) y la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2001, 2002a, 2002b).

A veces, el área mínima a sembrar con algunos cultivos es determinada por los planeadores de los distritos, la cual está en función de los insumos requeridos por la industria, la ganadería o la avicultura local. En otras ocasiones, estas restricciones se fijan de acuerdo con la tendencia histórica del cultivo (Chávez, 1985). En los últimos 10 años, en la Comarca Lagunera, los granos han ocupado, en promedio, 13% de la superficie sembrada; los productores siembran estos cultivos para garantizar la supervivencia, ya que son básicos para la alimentación de sus familias y, en ocasiones, de sus animales.

El modelo base consideró restricciones para la producción de máximo y mínimo. Las restricciones de mínimo fueron para los granos. La superficie mínima destinada a la producción de granos se estimó de acuerdo con la superficie mínima sembrada registrada en la última década. Las restricciones de máximo se aplicarán a los forrajes, las hortalizas, los frutales y el algodón. Durante la última década, los forrajes han ocupado, en promedio, 46% de la superficie sembrada, además de que su producción es importante para la actividad pecuaria, pues son el principal insumo de la producción ganadera y, por consiguiente, de la actividad lechera de la región. Al igual que en la restricción de mínimo, la superficie máxima a sembrar de forrajes, hortalizas, frutales y algodón, corresponde a la superficie máxima sembrada registrada en la última década. Así, el modelo consideró 23 actividades seleccionadas, de acuerdo con la tecnología con que se producen –sean cultivos cíclicos (primavera-verano u otoño-invierno) o perennes. En general, el modelo consideró 23 actividades y 29 restricciones; se consideraron seis componentes restrictivos, relacionados con los recursos disponibles correspondientes a mano de obra, tierra y agua bajo las modalidades de gravedad y bombeo y los siguientes 23 componentes restrictivos de máximo y mínimo (Cuadro 1).

Para evaluar el impacto de la reducción en la disponibilidad del recurso sobre el precio sombra del agua, se realizaron 18 escenarios; el primero, segundo y

**Cuadro 1. Componentes restrictivos de máximo y mínimo de los cultivos considerados en el modelo.**

Actividad			Actividad				
		ha			ha		
$x_1$	Trigo grano bombeo	?	746	$x_{10}$	Hortalizas bombeo	?	1 745
$x_4$	Maíz grano bombeo	?	462	$x_{11}$	Alfalfa bombeo	?	31 906
$x_5$	Frijol bombeo	?	94	$x_{12}$	Nogal bombeo	?	3 397
$x_{14}$	Maíz grano gravedad	?	2279	$x_{13}$	Algodón gravedad	?	18 383
$x_{15}$	Frijol gravedad	?	836	$x_{17}$	Maíz forrajero gravedad	?	8 873
$x_{16}$	Sorgo grano gravedad	?	175	$x_{18}$	Sorgo forrajero gravedad	?	5 637
$x_2$	Avena forrajera bombeo	?	5204	$x_{19}$	Melón gravedad	?	3 098
$x_3$	Zacate ballico bombeo	?	4618	$x_{20}$	Sandía gravedad	?	1 114
$x_6$	Maíz forrajero bombeo	?	9755	$x_{21}$	Hortalizas gravedad	?	4 620
$x_7$	Sorgo forrajero bombeo	?	7023	$x_{22}$	Alfalfa gravedad	?	6 964
$x_8$	Melón bombeo	?	4589	$x_{23}$	Nogal gravedad	?	1 890
$x_9$	Sandía bombeo	?	1530				

décimo octavo escenario consideraron la reducción anual en la disponibilidad de agua por bombeo y gravedad en 2, 4 y 36%, respectivamente. Se consideraron reducciones de 2% por año sobre la disponibilidad de agua de bombeo y gravedad, ya que, en el caso del agua superficial, se ha estimado que la disponibilidad del líquido se reduce en este porcentaje cada año.

Para determinar la productividad marginal del agua en la Comarca Lagunera (considerando a ésta como una referencia del precio sombra del agua), se estableció una función que relaciona el beneficio neto en función del volumen de agua, utilizado por los principales cultivos en la Comarca Lagunera. Otros factores, como la mano de obra y la tierra, no se incorporaron a la función de producción, de ahí que su efecto sobre el beneficio es captado a través del intercepto de la función. En forma matemática se tiene:

$$BN = b_0 + b_1VA + b_2VA^2 + e$$

donde:  $BN$  es el beneficio neto, calculado como la diferencia entre el ingreso total ( $IT$ ) y el costo total ( $CT$ ); y  $VA$  es el volumen de agua, utilizado para generar ese beneficio neto. Es conveniente mencionar que se estimaron modelos tipo Cobb-Douglas; sin embargo, los modelos cuadráticos representaron un mejor ajuste. Los datos usados en la estimación del modelo se presentan en el Cuadro 2.

La derivada parcial de la relación funcional beneficio neto, con respecto a la cantidad de recurso utilizado, proporciona la productividad marginal neta de

ese recurso, en este caso el volumen de agua utilizado. La productividad marginal del agua indica el aumento en el beneficio neto por unidad de recurso utilizado (volumen de agua). Dicha productividad marginal se calcula de la siguiente manera:

$$PMg_a = \frac{\partial BN}{\partial VA}$$

donde:  $PMg_a$  es la productividad marginal neta del agua.

Los cultivos considerados para el análisis de la relación funcional entre el beneficio neto y el volumen de agua de gravedad fueron algodón, maíz grano, frijol, sorgo grano, maíz forrajero, sorgo forrajero, melón, sandía, tomate, chile, alfalfa, nogal y sorgo industrial. Los datos referentes a superficie, rendimiento, precios, costos de producción y láminas de riego corresponden al promedio de los ciclos agrícolas 1999-2000, 2000-2001 y 2001-2002. Considerando precios constantes de 2002, el beneficio neto por cultivo se calculó como la diferencia entre el ingreso bruto total menos los costos de producción. El año de análisis seleccionado fue 2002, por ser un año representativo.

En el análisis entre el beneficio neto y el volumen de agua de bombeo, los cultivos fueron trigo, avena forrajera, zacate ballico, maíz grano, frijol, maíz forrajero, sorgo forrajero, melón, sandía, tomate, chile, alfalfa, nogal y sorgo industrial. Los datos referentes a superficie, rendimiento, precios, costos de producción y láminas de riego corresponden al ciclo agrícola 2001-2002, debido a que no se contó con una serie

**Cuadro 2. Beneficio neto y volumen bruto de agua.**

Bombeo		Gravedad	
Beneficio neto	Volumen bruto	Beneficio neto	Volumen bruto
Pesos (millones)	m <sup>3</sup> (millones)	Pesos (millones)	m <sup>3</sup> (millones)
219.154 879	535.576 904	39.974 796	122.676 849
312.540 122	618.927 440	64.951 390	158.315 617
390.887 186	642.957 818	89.835 353	237.813 559
456.273 272	703.328 408	113.745 121	318.260 838
480.056 604	757.497 752	134.117 730	333.583 094
498.326 901	764.320 022	149.765 126	350.706 887
511.071 842	767.086 040	165.011 313	374.098 364
517.731 018	769.556 240	169.523 410	380.725 862
519.643 914	776.416 400	172.706 989	407.820 133
520.326 754	777.274 319	174.987 247	474.500 196
519.425 586	782.541 825	175.270 087	535.361 567
518.464 274	787.124 865	175.165 304	543.914 649
514.442 381	820.784 082	153.049 504	663.180 120
508.601 857	842.192 726		

histórica sobre volúmenes de agua de bombeo. El beneficio neto por cultivo se calculó como la diferencia de ingreso bruto menos los costos de producción a precios de 2002.

El procedimiento para el cálculo de los valores a utilizar en la estimación de la relación funcional entre el beneficio neto y el volumen de agua utilizado, tanto de gravedad como de bombeo, fue el siguiente: a) se obtuvo la información de beneficio neto (BN) y volumen de agua utilizado (VA) por cultivo; b) se ordenaron los cultivos de mayor a menor, tomando como referencia el beneficio neto; b) se acumularon los valores de beneficio neto y volumen de agua utilizado; y d) se aplicó un análisis de regresión al BN y el VA acumulados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelo de Programación Lineal

Los resultados del modelo de programación lineal indican que si los recursos disponibles se usarán de manera óptima, el ingreso de los productores ascendería a 1426 millones de pesos. Dicho ingreso es superior en 17% al ingreso que se obtiene utilizando el patrón actual de cultivos, el cual genera un ingreso de 1179 millones de pesos, lo cual quiere decir que se están dejando de ganar 247 millones de pesos al utilizar el actual patrón de cultivos. Al disminuir en 2% la disponibilidad de agua, tanto en las zonas de gravedad, como de bombeo,

se observa que el valor de la función objetivo disminuye; dicho ingreso máximo sigue siendo superior al ingreso máximo que proporciona el patrón actual, hasta llegar a una reducción de 30% en la disponibilidad de agua de bombeo y gravedad. Tal situación indica que una mejor asignación de los recursos disponibles generaría el mismo ingreso, con menor cantidad de agua.

Durante el ciclo agrícola 2001-2002, en el sector agrícola de la Comarca Lagunera se sembraron 96 632 ha, entre gravedad y bombeo, de las cuales los cultivos forrajeros ocuparon 72% de la superficie sembrada (Cuadro 3). Contrario a esto, el patrón de cultivos óptimo del modelo base propone sembrar 88 794 ha (71 952 ha de bombeo y 16 842 ha de gravedad), quedando fuera la avena forrajera, el zacate ballico, el nogal de bombeo, el algodón, el sorgo forrajero de gravedad y la alfalfa de gravedad. También, los cultivos forrajeros ocupan el mayor porcentaje de la superficie (57%) que indica el patrón óptimo de cultivos; esto coincide con que la producción de forrajes es el sustento de la actividad pecuaria, puesto que son el principal insumo para la explotación ganadera y la producción de leche en la Comarca Lagunera (Cuadro 3). Habría que reflexionar sobre la validez del patrón óptimo de cultivos propuesto por el modelo. En primer lugar, se propone cultivar 71 952 ha de bombeo, lo cual parece ilógico, dadas las condiciones climáticas adversas de la región; dicho resultado es consecuencia de no haber considerado disminuciones en la disponibilidad de agua

**Cuadro 3. Comparación del patrón de cultivos actual y el patrón óptimo propuesto.**

Cultivo	Superficie			
	Patrón actual		Patrón óptimo	
	ha	%	ha	%
	Bombeo			
Trigo	746	0.8	746	0.8
Avena forrajera	5 517	5.7	0	0
Zacate ballico	2 479	2.6	0	0
Maíz grano	462	0.5	462	0.5
Frijol	111	0.1	15 171	17.1
Maíz forrajero	10 559	10.9	9 755	11
Sorgo forrajero	8 098	8.4	7 023	7.9
Melón	3 537	3.7	4 589	5.2
Sandía	910	0.9	1 530	1.7
Hortalizas	702	0.7	1 745	2
Alfalfa	31 646	32.8	30 931	34.8
Nogal	3 264	3.4	0	0
	Gravedad			
Algodón	1 321	1.4	0	0
Maíz grano	2 279	2.4	2 279	2.6
Frijol	836	0.9	836	0.9
Sorgo grano	175	0.2	175	0.2
Maíz forrajero	2 995	3.1	2 830	3.2
Sorgo forrajero	3 219	3.3	0	0
Melón	421	0.4	3 098	3.5
Sandía	90	0.1	1 114	1.3
Hortalizas	845	0.9	4 620	5.2
Alfalfa	5 326	5.5	0	0
Nogal	2 653	2.8	1 890	2.1
Otros	8 441	8.7	0	0
Total	96 632	100	88 794	100

en el modelo base, lo cual responde al propósito de determinar el precio sombra del agua, considerando el consumo y la disponibilidad del recurso en la actualidad. En segundo lugar, el patrón óptimo propone aumentar la superficie dedicada a frijol, de 111 a 15 171 ha, y desaparecer la producción de algodón de gravedad. Los bajos costos de producción y el alto rendimiento del frijol determinan un alto beneficio neto para este cultivo; adicionalmente, los requerimientos de agua son inferiores a los de otros cultivos, como el algodón y la alfalfa. Como consecuencia de los altos costos de producción y un precio bajo, el beneficio neto del algodón también es bajo y los requerimientos de agua son sensiblemente mayores que los de otros cultivos. Por lo tanto, si el objetivo del productor es maximizar la ganancia, el patrón óptimo determinado por el modelo es válido.

La función objetivo del modelo base maximiza el ingreso neto de los productores y está sujeta a restricciones de disponibilidad de recursos, como la tierra, la mano de obra y el agua. Los resultados del modelo base indican que, en el ciclo agrícola 2001-2002, la tierra irrigada con bombeo, el agua de bombeo y el agua de gravedad se usan en su totalidad, lo cual indica que dichos recursos son escasos en la Comarca Lagunera. Asimismo, al variar la disponibilidad de agua de bombeo y gravedad, éstas siguen siendo un recurso escaso, puesto que el recurso se agota en cada solución.

La mano de obra es un recurso abundante; de los 3 809 333 jornales disponibles para realizar el riego por bombeo, sólo se utilizan 2 446 100, lo que representa 64%. En el caso del riego por gravedad sólo se utiliza 53% (1 534 600 jornales). La tierra regada con agua de gravedad también resulta ser un recurso abundante en la región, ya que de las 45 381 ha disponibles, el modelo propone ejercer sólo 37%, es decir, 16 842 ha.

El precio sombra de los recursos indica el valor en que se incrementaría el ingreso neto si se dispusiera de una unidad adicional de agua, siempre y cuando se lleve a cabo el patrón de cultivos propuesto por el modelo. Cuando el recurso disponible no se emplea en su totalidad, el precio sombra es cero.

Si se dispone de una unidad más de agua, el ingreso máximo se verá aumentado en \$0.646 m<sup>3</sup> de bombeo y \$0.582 m<sup>3</sup> de gravedad (Cuadro 4). El precio sombra del agua de bombeo es superior al precio sombra del agua superficial, debido a que el agua de bombeo tiene una mejor productividad media, por requerir menos agua para producir una unidad de producto.

En México, los usuarios del agua del sector agrícola están exentos del cobro del derecho por uso de aguas nacionales, pero sí pagan una cuota por la operación y el mantenimiento de la infraestructura federal al usar de este tipo de obras para el suministro del recurso (CNA, 2002a). Si se compara el precio sombra del agua de gravedad de \$0.582 m<sup>3</sup>, con la cuota que pagan los usuarios del distrito de riego, que es de \$0.05 m<sup>3</sup> (CNA, 2002a), la cuota pagada por unidad de agua superficial es 11.64 veces menor que el precio sombra. Los usuarios de este recurso, en el Distrito de Riego 017, pagan cuotas que no reflejan el verdadero valor de escasez (valor económico), ya que pueden pagar más por unidad del recurso, hasta el valor del precio sombra.

La disminución en la disponibilidad de agua en ambas tecnologías trae como resultado un aumento en el precio

**Cuadro 4. Precio sombra y productividad marginal del agua.**

Disminución en la disponibilidad de agua	Valor de la función objetivo	Precio sombra		Superficie cosechada
		Bombeo	Gravedad	
%		pesos m <sup>-3</sup>		ha
2	1410	0.646	0.582	86 996
14	1318	0.646	0.582	86 276
16	1302	0.646	0.740	85 906
24	1235	0.646	0.740	84 150
26	1217	0.646	0.897	83 859
36	1117	1.274	0.897	80 472

sombra del agua. Cuando la disponibilidad de agua de bombeo y gravedad disminuye en 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14%, el precio sombra se mantiene en \$0.582 m<sup>-3</sup>. El precio aumenta y se mantiene en \$0.740 m<sup>-3</sup> cuando la disponibilidad de agua disminuye 16, 18, 20, 22 y 24%; finalmente, aumenta a \$0.897 m<sup>-3</sup> cuando la disminución en la disponibilidad es superior a 26%. A diferencia de este comportamiento, el precio sombra del agua de bombeo se mantiene en \$0.646 m<sup>-3</sup> y sólo aumenta a \$1.274 m<sup>-3</sup> cuando la disponibilidad de agua disminuye en 36% (Cuadro 4).

**Función de Producción**

Para obtener el valor económico del agua, a través de su productividad marginal en gravedad y bombeo, se realizó un análisis de regresión, usando el ingreso neto y el volumen de agua utilizados. Los resultados estadísticos se presentan en el Cuadro 5. El coeficiente de determinación R<sup>2</sup> fue mayor de 0.90 en los dos modelos. La prueba individual de *t* mostró que todas las variables relacionadas con el volumen de agua fueron

significativas en ambas ecuaciones (bombeo y gravedad).

La función de productividad marginal de agua se obtiene derivando al función de producción estimada, esto es:

$$PMg_a = 5.46983 - 0.006441VA,$$

donde: *PMg<sub>a</sub>* es la productividad marginal del agua de bombeo y *VA* es el volumen de agua de bombeo utilizado. De acuerdo con la ley de rendimientos marginales decrecientes, al utilizar mayor cantidad de agua se presenta una disminución en el beneficio neto por unidad de volumen de agua adicional. La productividad marginal del agua tiende a disminuir, a medida que la disponibilidad de agua aumenta (Cuadro 6). De manera contraria, la productividad marginal tiende a aumentar cuando el agua es escasa, tomando un valor de 5.46983 cuando *VA* es cero; conviene mencionar que dicho valor no es relevante en la práctica, aunque refleja el valor

**Cuadro 6. Productividad marginal del agua.**

Volumen de agua		Productividad marginal	
Bombeo	Gravedad	Bombeo	Gravedad
millones de metros cúbicos		\$ m <sup>-3</sup>	
535.58	122.677	2.04	0.70
618.93	158.316	1.51	0.64
642.96	237.814	1.35	0.50
703.33	318.261	0.97	0.36
757.50	333.583	0.62	0.33
764.32	350.707	0.58	0.30
767.09	374.098	0.56	0.26
769.56	380.726	0.54	0.25
776.42	407.820	0.50	0.20
777.27	474.500	0.50	0.09
738.97	376.997	0.74	0.25

**Cuadro 5. Resultados estadísticos estimados de la función de producción.**

Var. dependiente <i>BN</i>	Intercepto	Variables explicativas		R <sup>2</sup>	Prob > F
		VA	VA <sup>2</sup>		
Bombeo					
Coefficiente	-1806.86	5.4698	-0.0032	0.97	0.0001
Error estándar	303.83	0.8905	0.0006		
Razón de t	-5.95	6.14	-4.98		
Gravedad					
Coefficiente	-64.37	0.9105	-0.000867	0.95	0.0001
Error estándar	17.43	0.0953	0.000121		
Razón de t	-3.69	9.55	-7.14		

BN: beneficio neto. VA: volumen de agua de bombeo utilizado.

del recurso ante una situación en que éste se ha agotado en su totalidad. Para un volumen promedio de 738.97 millones de m<sup>3</sup>, la productividad marginal del agua es de \$0.73 m<sup>-3</sup>; con un beneficio neto de \$485.005 millones de pesos. El valor marginal representa el incremento en el beneficio neto al utilizar una unidad adicional del recurso (volumen de agua utilizado). La curva que se obtendría, al graficar el volumen de agua utilizado contra la productividad marginal, tiene pendiente negativa y representa la función de demanda del recurso (Figura 1).

Los resultados estadísticos de la estimación de la función de producción para la superficie agrícola que se irriga con agua de gravedad, se presentan en el Cuadro 5. La productividad marginal del agua de gravedad utilizada, como referencia para la estimación del precio sombra del agua, se obtuvo derivando la función de producción estimada con el siguiente resultado:

$$PMg_a = 0.91059794 - 0.0017343VA.$$

De acuerdo con el volumen de agua utilizado por los cultivos seleccionados, se tiene que para un volumen promedio de 376.99 millones de m<sup>3</sup>, la productividad marginal del agua es de \$0.25 m<sup>-3</sup>. En el Cuadro 6 se presenta el comportamiento de la productividad marginal conforme varía el volumen de agua disponible.

La productividad marginal del agua tiende a disminuir a medida que la disponibilidad de agua va en aumento. La curva que se forma al graficar el volumen de agua utilizado contra la productividad marginal tiene pendiente negativa y representa la función de demanda del recurso (Figura 2).

En los modelos anteriores, la relación beneficio neto contra volumen de agua se utilizó para evaluar

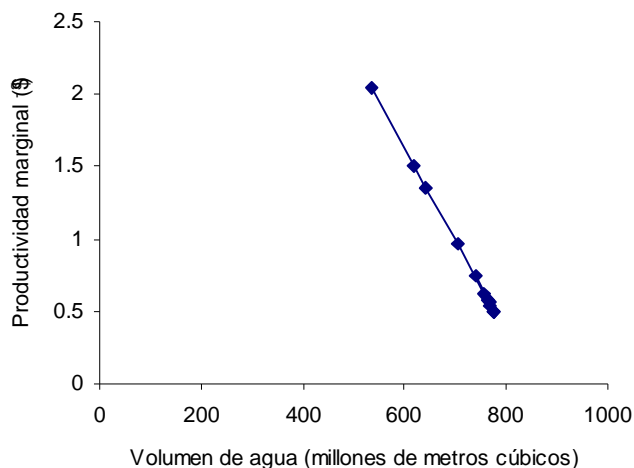


Figura 1. Productividad marginal del agua en bombeo.

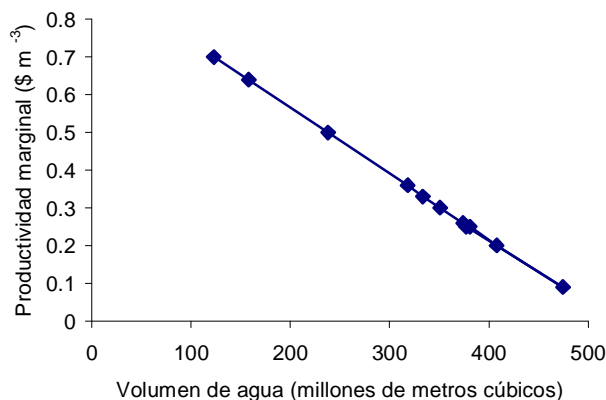


Figura 2. Productividad marginal del agua en gravedad.

la productividad marginal neta del agua de riego; lo anterior sirvió como un punto de referencia del precio sombra del agua en promedio para la región. Si se comparan las productividades marginales netas promedio estimadas anteriormente para agua de bombeo y gravedad (\$0.73 m<sup>-3</sup> y \$0.25 m<sup>-3</sup>, respectivamente) contra la cuota (\$0.05 m<sup>-3</sup>) que pagan los usuarios del agua, se observa que dichas productividades son mayores que la cuota; es decir, la cuota que pagan los productores por el uso del agua no refleja su verdadero valor. Así, los productores deberían estar dispuestos a pagar hasta los valores de productividad marginal calculados.

### CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación sobre la magnitud del precio sombra y la productividad marginal del agua muestran que las cuotas pagadas por los productores agrícolas de la Comarca Lagunera no reflejan el valor del recurso. Debido a que los precios sombra calculados fueron más altos que la cuota que pagan los productores agrícolas de la región, éstos podrían servir para defender un aumento en las cuotas que actualmente se pagan por el uso del agua.

### LITERATURA CITADA

Caballer, V. y N. Guadalajara. 1998. Valoración económica del agua de riego. Mundi-Prensa. Madrid, España.  
 Chávez-Morales, J. 1985. An optimization and simulation methodology for irrigation planning. Graduate Division. College of Engineering. University of California. Davis, CA, USA.  
 CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998. Estadísticas del Distrito de Riego 017. Gerencia Regional. Torreón, Coahuila, México.



- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2001. Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2005 de la Región VII Cuencas Centrales del Norte. Torreón, Coahuila, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002a. Valor, costo y precio del agua en la Región Lagunera. México, D. F.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002b. Estudio de actualización continua de conocimiento del acuífero principal Región Lagunera Coahuila y Durango. Torreón, Coahuila, México
- Fortis-Hernández, M., R. Ahlers, J. A. Leos-Rodríguez y E. Salazar-Sosa. 2002. El mercado de los derechos de agua en la Comarca Lagunera. *Políticas Agrícolas* 12: 103-122.
- Fortis-Hernández, M. y R. Ahlers. 1999. Naturaleza y extensión del mercado de agua en el D.R. 017 de la Comarca Lagunera, México. Serie Latinoamericana 10. Instituto Internacional de Manejo del Agua. México, D. F.
- Levine, G., A. Cruz-Galvan, D. Garcia, C. Garcés-Restrepo y S. Johnson III. 1998. Performance of two transferred modules in the Lagunera Region: water relations. Research Report 23. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2000. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. <http://www.grida.no/geo2000/ov-es.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 1992-2002. Anuarios estadísticos de la producción agropecuaria, Comarca Lagunera. Ciudad Lerdo, Durango, México.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2003. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Agua para Todos, Agua para la Vida. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>