

DEMANDA Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

WATER DEMAND AND DISTRIBUTION IN THE COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

José A. García-Salazar¹, Eugenio Guzmán-Soria¹ y Manuel Fortis-Hernández²

¹Economía. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (jsalazar@colpos.mx). ²Instituto Tecnológico Agropecuario Núm. 10. Torreón, Coahuila. (mfortis@avantel.net).

RESUMEN

Para determinar el aumento en el precio del agua en los sectores agrícola, pecuario, residencial e industrial de la Comarca Lagunera que permita reducir la extracción de agua subterránea, se validó un modelo de equilibrio espacial e intertemporal que consideró funciones de demanda y ofertas fijas. Los resultados indican que en el periodo 2001-2003 la demanda anual promedio de agua fue de 872.5, 539.2, 67.8, 44.2 y 28.9 millones de metros cúbicos (hm^3) en los sectores agrícola de riego por bombeo, agrícola de riego por gravedad, residencial, pecuario e industrial. De esta demanda 65.3% (1013.4 hm^3) fue abastecida con agua subterránea. Una disminución de 10% en las extracciones de agua subterránea podría lograrse aumentando 98.6 y 21.5% los precios en los sectores agrícola de riego por bombeo e industrial, respecto a los precios promedio de 2001 a 2003, porque tal aumento disminuiría la demanda en 99.8 y 1.4 hm^3 en esos sectores.

Palabras clave: Agricultura, ganadería, industria, modelo de equilibrio espacial, sector residencial.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los mantos acuíferos ha comenzado a afectar la producción del norte de México, donde se encuentra el mayor dinamismo de la economía. El Banco Mundial sostiene que el país tiene problemas críticos asociados con el agua, que incluyen la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos de las regiones más importantes en términos de su contribución al PIB. La Comarca Lagunera³ es una de estas regiones, en las que el agua es un recurso escaso que limita la actividad económica. Desde hace muchos años la extracción de agua subterránea ha sido mayor a la recarga, lo cual ha generado una sobreexplotación de los acuíferos por más de 480 hm^3 (CNA, 2002a). Éste es un uso no sustentable del recurso, pues la extracción es mayor a la capacidad de recarga, lo que provoca una inequidad que amenaza a las

Recibido: Abril, 2005. Aprobado: Diciembre, 2005.
Publicado como NOTA en *Agrociencia* 40: 269-276. 2006.

³ Región integrada por cinco municipios de Coahuila (Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca) y diez de Durango (Gómez Palacio, Tlahualilo, Lerdo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo y Simón Bolívar).

ABSTRACT

To determine the price increase of water in the agricultural, livestock, residential and industrial sectors of the Comarca Lagunera that will make it possible to reduce the extraction of underground water, a spatial and intertemporal equilibrium model was validated, which considered demand functions and fixed supplies. Results indicate that in the period 2001-2003, the average annual water demand was 872.5, 539.2, 62.8, 44.2 and 28.9 million cubic meters (hm^3) in the pumped and surface irrigation agriculture, residential, livestock and industrial sectors. Of this demand 65.3% (1013.4 hm^3) was supplied with underground water. A reduction of 10% in the underground water extractions could be achieved by increasing the price 98.6 and 21.5% in the pumped irrigation agriculture and industrial sectors, with respect to the average prices of 2001 to 2003, given that such an increase would reduce the demand by 99.8 and 1.4 hm^3 in these sectors.

Key words: Agriculture, livestock, industry, spatial equilibrium model, residential sector.

INTRODUCTION

The deterioration of the underground water reserves has begun to affect production in northern México, where the greatest dynamism of the economy is found. The World Bank sustains that the country has critical problems associated with water, which include overexploitation and contamination of the water resources of the most important regions in terms of their contribution to the GNP. The Comarca Lagunera³ is one of these regions, in which water is a scarce resource, which limits economic activity. For many years, the extraction of underground water has surpassed its replenishment, generating an overexploitation of the water supplies by more than 480 hm^3 (CNA, 2002a). This is an unsustainable use of the resource, given that the extraction is greater than the capacity of replenishment, which provokes an imbalance that threatens the coming generations with the likely exhaustion of the resource. Faced with the problems caused by a permanent

próximas generaciones por el probable agotamiento del recurso. Ante los problemas que origina una sobreexplotación permanente, el gobierno mexicano se ha interesado en estudiar cómo los sectores demandantes podrían hacer un uso más eficiente del agua.

En el periodo 2001-2003, el PIB promedio de la Comarca Lagunera fue 22 379 millones de pesos de 1993, generando 1.4, 1.8 y 2.5% del PIB nacional total, agropecuario e industrial, respectivamente (INEGI, 2004; El Siglo de Torreón, 2005). La competencia por el agua se debe a la existencia de varios sectores consumidores (agricultura de riego por bombeo y gravedad, sector residencial, ganadería e industria) y a la escasez del recurso. La demanda de agua para uso residencial proviene del crecimiento de la población, con 1249 millones de personas y 289 mil viviendas en el año 2000 (INEGI, 2001). La demanda de agua para uso industrial proviene del crecimiento de la industria, compuesta de 15 parques y más de 871 empresas. El consumo pecuario proviene del crecimiento de la ganadería, que en 2003 generó 19.1 y 49.4% de la producción nacional de leche de bovino y caprino, 12.3, 3.2 y 7.9% de la carne en canal de ave, bovino y caprino; y 6.3% de la de huevo (SAGARPA, 2000-2004; SIAP, 2005). El crecimiento de esos sectores ha disminuído el agua para uso agrícola, por lo que la superficie anual irrigada depende de la disponibilidad de agua rodada.

La demanda de agua se abastece con agua renovable y no renovable. El agua renovable proviene de los escurrimientos de aguas superficiales de los ríos Nazas y Aguanaval; se repone continuamente por el ciclo hidrológico y puede extraerse dentro de límites razonables de tiempo. El agua no renovable se extrae de los acuíferos por la explotación de más de tres mil pozos que producen más de 1000 hm³ (CNA, 2001). Dichos acuíferos no se reponen en el ciclo hidrológico, sino que se llenan lentamente a lo largo de siglos, por lo que se agotan si se extraen cantidades considerables de agua.

En este trabajo se postula que el precio del agua puede ser un instrumento para disminuir la demanda. Se puede lograr un consumo menor aumentando el precio, pues la demanda responde inversamente a cambios en el precio. En los sectores residenciales de otros países la elasticidad precio de la demanda es baja, oscilando entre -0.1 y -0.5 (Gibbs, 1978; Hanke y de Maré, 1982; Billings y Agthe, 1980; Rizaiza, 1991; Jones y Morris, 1984; Lyman, 1992). Para la industria, las elasticidades varían entre -0.1 y -0.8 (DeRooy, 1974; Grebenstein y Field, 1979; Babin *et al.*, 1982; Williams y Suh, 1986; Renzetti, 1988). Para los sectores consumidores de la Comarca Lagunera, Guzmán (2005)⁴ estimó elasticidades entre -0.002 y -0.178.

overexploitation, the Mexican government has taken an interest in studying how the demanding sectors could make a more efficient use of water.

In the period 2001-2003, the average GNP of the Comarca Lagunera was 22 379 million pesos of 1993, generating 1.4, 1.8 and 2.5% of the total national, agricultural and industrial GNP, respectively (INEGI, 2004; El Siglo de Torreón, 2005). The competition for water is due to the existence of various sectors of consumers (pumped and surface irrigation agriculture, residential, livestock and industry) and to the scarcity of the resource. The water demand for residential use arises from the growth of the population, with 1249 million people and 289 thousand homes in the year 2000 (INEGI, 2001). The water demand for industrial use comes from the growth of industry, comprised of 15 parks and over 871 companies. The livestock water consumption is the result of the growth of the livestock industry, which in 2003 generated 19.1 and 49.4% of the national production of cow and goat milk, 12.3, 3.2 and 7.9% of fowl, beef and goat meat; and 6.3% of the egg production (SAGARPA, 2000-2004; SIAP, 2005). The growth of these sectors has reduced the water for agricultural purposes, thus the annual irrigated surface depends on the availability of surface water.

The water demand is supplied with renewable and non-renewable water. Renewable water comes from the run-off of surface water of the Nazas and Aguanaval rivers; it is continually replaced by the hydrological cycle and can be extracted within reasonable time limits. Non-renewable water is extracted from the underground water reserves by the exploitation of more than three thousand wells that produce over 1000 hm³ (CNA, 2001). These water reserves are not replaced in the hydrological cycle; they fill slowly over centuries, and therefore become depleted if considerable amounts of water are extracted.

It is postulated in this study that the price of water can be an instrument for reducing the demand. A lower consumption can be achieved by increasing the price, as the demand responds inversely to price changes. In the residential sectors of other countries, the demand price elasticity is low, oscillating between -0.1 and -0.5 (Gibbs, 1978; Hanke and de Maré, 1982; Billings and Agthe, 1980; Rizaiza, 1991; Jones and Morris, 1984; Lyman, 1992). For industry, elasticities vary between -0.1 and -0.8 (DeRooy, 1974; Grebenstein and Field, 1979; Babin *et al.*, 1982; Williams and Suh, 1986; Renzetti, 1988). For the consumer sectors of the Comarca Lagunera, Guzmán (2005)⁴ estimated elasticities between -0.002 and -0.178.

⁴ Guzmán Soria Eugenio. (2005). La Demanda de Agua en la Comarca Lagunera, México. Tesis de doctorado (borrador). Colegio de Postgraduados. Economía. Montecillo, Estado de México.

La política de precios en la región es diferente para cada consumidor. Para los consumidores de agua superficial, el precio sólo incluye la cuota cobrada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) por el servicio de riego, aunque en ocasiones los usuarios pagan 50% de la inversión de los proyectos hidráulicos realizados para el abastecimiento del agua (CNA, 2002b). Los consumidores que extraen agua subterránea de pozos profundos sólo pagan el mantenimiento de sus equipos y el costo de la energía eléctrica. Los consumidores que obtienen agua potable de la red pública pagan las tarifas cobradas por los organismos operadores. El sistema de tarifas de agua potable en la región corresponde a un sistema de intervalos, aplicando una tarifa diferente a cada uno, la cual crece con el nivel de consumo.

Considerando la importancia del agua en la región, este estudio tuvo como objetivo determinar los aumentos en precio (por tipo de consumidor) que reduzcan las extracciones de agua subterránea. Por la baja elasticidad precio de la demanda, se espera que los aumentos en precio sean mayores a la disminución que podría lograrse en la demanda y las extracciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La asignación eficiente del agua implica su distribución de acuerdo con su mayor valor de uso. Dado que el valor del agua se mide por el área bajo la curva de demanda, la reducción en la disponibilidad y su asignación entre consumidores se puede analizar con un modelo de equilibrio espacial e intertemporal. Dadas funciones de demanda y ofertas fijas, el modelo permite determinar la distribución entre regiones y usuarios. El modelo de programación cuadrática maximiza el Valor Social Neto (VSN), que es igual a la suma de las áreas bajo la curva de demanda, menos los costos de extracción de agua subterránea, menos los costos de distribución.

Suponiendo j regiones agrícolas de riego por bombeo ($j=1,2,...J=13$), k regiones agrícolas de riego de gravedad ($k=1,2,...K=15$), d regiones residenciales ($d=1,2,...D=15$), h regiones pecuarias ($h=1,2,...H=15$), f regiones industriales ($f=1,2,...F=8$), i regiones de agua subterránea ($i=1,2,...I=15$), s orígenes de agua rodada ($s=1,2,...S=2$) y t periodos de tiempo ($t=1,2,...T=12$), el modelo es:

$$\begin{aligned}
 MaxVSN = & \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{j=1}^J \left[p_{jt} y_{jt} + \frac{1}{2} \omega_{jt} y_{jt}^2 \right] \\
 & + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{k=1}^K \left[p_{kt} y_{kt} + \frac{1}{2} \omega_{kt} y_{kt}^2 \right] \\
 & + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{d=1}^D \left[p_{dt} y_{dt} + \frac{1}{2} \omega_{dt} y_{dt}^2 \right] + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{h=1}^H \left[p_{ht} y_{ht} + \frac{1}{2} \omega_{ht} y_{ht}^2 \right] \\
 & + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{f=1}^F \left[p_{ft} y_{ft} + \frac{1}{2} \omega_{ft} y_{ft}^2 \right] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I [p_{it} x_{it}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S [p_{st} x_{st}]
 \end{aligned}$$

The price policy in the region is different for each consumer. For the consumers of surface water, the price only includes the fee charged by the Comisión Nacional de Agua (CNA) for the service of irrigation, although on occasion the users pay 50% of the investment of the hydraulic projects carried out for supplying water (CNA, 2002b). The consumers that extract underground water from deep wells only pay the maintenance of their equipment and the cost of the electric energy. The consumers who obtain drinking water from the public system pay the fees charged by the operating organisms. The tariff system of drinking water in the region corresponds to a system of intervals, applying a different tariff to each one, which increases with the consumption level.

Considering the importance of water in the region, the objective of the present study was to determine the price increases (per type of consumer) that reduce the extractions of underground water. Due to the low price elasticity of the demand, it is expected that the price increases will be greater than the reduction that could be achieved in the demand and the extractions.

MATERIALS AND METHODS

The efficient allocation of water implies its distribution according to its greatest use value. Given that the value of water is measured by the area below the demand curve, reduction in its availability and its allocation among consumers can be analyzed with a spatial and intertemporal equilibrium model. Given fixed supply and demand functions, the model makes it possible to determine the distribution among regions and users. The quadratic programming model maximizes the Net Social Payoff (NSP), which is equal to the sum of the areas below the demand curve, minus the costs of extraction of underground water, minus the costs of distribution.

Assuming j pumped irrigation agricultural regions ($j=1,2,...J=13$), k surface irrigation agricultural regions ($k=1,2,...K=15$), d residential regions ($d=1,2,...D=15$), h livestock regions ($h=1,2,...H=15$), f industrial regions ($f=1,2,...F=8$), i underground water regions ($i=1,2,...I=15$), s origins of surface water ($s=1,2,...S=2$) and t periods of time ($t=1,2,...T=12$), the model is:

$$\begin{aligned}
 MaxNSP = & \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{j=1}^J \left[p_{jt} y_{jt} + \frac{1}{2} \omega_{jt} y_{jt}^2 \right] \\
 & + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{k=1}^K \left[p_{kt} y_{kt} + \frac{1}{2} \omega_{kt} y_{kt}^2 \right] \\
 & + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{d=1}^D \left[p_{dt} y_{dt} + \frac{1}{2} \omega_{dt} y_{dt}^2 \right] + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{h=1}^H \left[p_{ht} y_{ht} + \frac{1}{2} \omega_{ht} y_{ht}^2 \right] \\
 & + \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{f=1}^F \left[p_{ft} y_{ft} + \frac{1}{2} \omega_{ft} y_{ft}^2 \right] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I [p_{it} x_{it}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S [p_{st} x_{st}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [p_{ijt} x_{ijt}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D [p_{idr} x_{idr}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H [p_{iht} x_{iht}] & -\sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [p_{ijt} x_{ijt}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D [p_{idr} x_{idr}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H [p_{iht} x_{iht}] \\
 & -\sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{f=1}^F [p_{ift} x_{ift}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K [p_{skt} x_{skt}] & -\sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{i=1}^I \sum_{f=1}^F [p_{ift} x_{ift}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K [p_{skt} x_{skt}] \\
 & -\sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S [p_{st,t+1} x_{st,t+1}] & -\sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S [p_{st,t+1} x_{st,t+1}]
 \end{aligned} \tag{1}$$

sujeto a:

$$x_{it} \geq \sum_{j=1}^J [x_{ijt}] + \sum_{d=1}^D [x_{idr}] + \sum_{h=1}^H [x_{iht}] + \sum_{f=1}^F [x_{ift}] \tag{2}$$

$$x_{st} + x_{st-1,t} - x_{st,t+1} \geq + \sum_{k=1}^K [x_{skt}] \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{ijt}] \geq y_{jt} \tag{4}$$

$$\sum_{s=1}^S [x_{skt}] \geq y_{kt} \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{idr}] \geq y_{dt} \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{iht}] \geq y_{ht} \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{ift}] \geq y_{ft} \tag{8}$$

$$y_{jt}, y_{kt}, y_{dt}, \dots, x_{ijt}, x_{skt}, x_{st,t+1} \geq 0 \tag{9}$$

donde, para el mes t , π^{t-1} es el factor de descuento con i , igual a la tasa de inflación; $\lambda_{jt}, \lambda_{kt}, \lambda_{dt}, \lambda_{ht}, \lambda_{ft}$ son las ordenadas de las funciones de demanda en las regiones j, k, d, h y f ; $y_{jt}, y_{kt}, y_{dt}, y_{ht}, y_{ft}$ son las cantidades consumidas de agua en las regiones j, k, d, h y f ; $\omega_{jt}, \omega_{kt}, \omega_{dt}, \omega_{ht}, \omega_{ft}$ son las pendientes de las funciones de demanda de agua en las regiones j, k, d, h y f ; p_{it} es el costo de extracción de agua subterránea en la región i ; x_{it} es la cantidad extraída de agua subterránea en la región i ; p_{st} es el precio por el uso del agua de la presa s ; x_{st} es la disponibilidad de agua en la presa s ; $p_{ijt}, p_{idr}, p_{iht}, p_{ift}$ son los costos de distribución de agua subterránea de i a j, d, h y f ; $x_{ijt}, x_{idr}, x_{iht}, x_{ift}$ son las cantidades de agua subterránea enviada de i a j, d, h y f ; p_{skt} es el costo de distribución del agua de la presa s a la región k ; x_{skt} es la cantidad de agua enviada de la presa s a la región k ; $p_{st,t+1}$ es el costo de almacenamiento de agua en la presa s del mes t al mes $t+1$; $x_{st,t+1}$ es la cantidad de agua almacenada en la presa s del mes t al $t+1$.

La función objetivo está sujeta a las restricciones 2 a 9, que representan funciones de balance de oferta y demanda de agua. La validación del modelo se realizó comparando los valores observados de la cantidad demandada y el precio promedio en el periodo 2001-2003, con los valores obtenidos con el modelo base. Se usaron dos escenarios con reducciones de 10 y 20% en la extracción de agua subterránea.

Subject to:

$$x_{it} \geq \sum_{j=1}^J [x_{ijt}] + \sum_{d=1}^D [x_{idr}] + \sum_{h=1}^H [x_{iht}] + \sum_{f=1}^F [x_{ift}] \tag{2}$$

$$x_{st} + x_{st-1,t} - x_{st,t+1} \geq + \sum_{k=1}^K [x_{skt}] \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{ijt}] \geq y_{jt} \tag{4}$$

$$\sum_{s=1}^S [x_{skt}] \geq y_{kt} \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{idr}] \geq y_{dt} \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{iht}] \geq y_{ht} \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{ift}] \geq y_{ft} \tag{8}$$

$$y_{jt}, y_{kt}, y_{dt}, \dots, x_{ijt}, x_{skt}, x_{st,t+1} \geq 0 \tag{9}$$

where, for month t , π^{t-1} is the discount factor with i , equal to the rate of inflation; $\lambda_{jt}, \lambda_{kt}, \lambda_{dt}, \lambda_{ht}, \lambda_{ft}$ are the intercepts of the water demand functions in regions j, k, d, h and f ; $y_{jt}, y_{kt}, y_{dt}, y_{ht}$ and y_{ft} are the amounts of water consumed in regions j, k, d, h and f ; $\omega_{jt}, \omega_{kt}, \omega_{dt}, \omega_{ht}, \omega_{ft}$ are the slopes of the water demand functions in regions j, k, d, h and f ; p_{it} is the cost of the extraction of underground water in region i ; x_{it} is the amount of underground water extracted in region i ; p_{st} is the price for the use of water from dam s ; x_{st} is the availability of water in dam s ; $p_{ijt}, p_{idr}, p_{iht}, p_{ift}$ are the distribution costs of underground water from i to j, d, h , and f ; $x_{ijt}, x_{idr}, x_{iht}, x_{ift}$ are the amounts of underground water sent from i to j, d, h and f ; p_{skt} is the cost of distribution of water from dam s to region k ; x_{skt} is the amount of water sent from dam s to region k ; $p_{st,t+1}$ is the cost of storing water in dam s from month t to month $t+1$; $x_{st,t+1}$ is the amount of water stored in dam s from month t to month $t+1$.

The objective function is subject to restrictions 2 to 9, which represent functions of balance of supply and demand of water. The validation of the model was made by comparing the observed values of the amount demanded and the average price in the period 2001-2003, with the values obtained with the base model. Two scenarios were used with reductions of 10 and 20% in the extraction of underground water.

La solución del modelo base se obtuvo usando funciones de demanda, costos de extracción y costos de envío de agua subterránea y rodada. Usando la elasticidad precio de la demanda, los precios y las cantidades demandadas, se estimaron 12 funciones de demanda por región consumidora. Se usaron las elasticidades reportadas por Guzmán (2005)⁴: -0.108 para la agricultura de riego por bombeo, -0.023 para la agricultura de riego por gravedad, -0.0032 para el sector residencial, -0.002 para la ganadería y -0.178 para la industria.

El consumo residencial de agua por municipio se obtuvo multiplicando el número de viviendas por el consumo por vivienda y la información se obtuvo de INEGI (2001), SIMAS (2004)⁵, SIDEAPA (2004)⁶, SIMAS-Torreón-Matamoros (2004)⁷. El consumo industrial se obtuvo sumando los volúmenes autorizado y consumido por las industrias conectadas a los sistemas de agua potable (CNA, 2002b). El consumo anual se dividió entre 12 para obtener datos mensuales. El consumo agrícola municipal se obtuvo multiplicando la superficie municipal de cada cultivo por la lámina de riego respectiva, considerando tecnologías de gravedad y bombeo. Se usó el calendario de siembras y cosechas para calcular datos por mes, y la información provino de SAGARPA (2001-2004), CNA (2002b) y Godínez (2005)⁸. Para obtener el consumo pecuario se multiplicó el inventario por especie por municipio por los requerimientos de agua; la información provino de SAGARPA (2001-2004).

Para calcular las funciones de demanda en los sectores residencial, industrial y pecuario se usaron las tarifas mensuales cobradas por los organismos operadores; la información provino de SIMAS (2004)⁵, SIDEAPA (2004)⁶ y SIMAS Torreón Matamoros (2004)⁷. En el sector agrícola de riego por gravedad el precio es igual a la cuota de riego promedio, obtenida a partir de las cuotas por el servicio de riego vigentes para los usuarios de los módulos de riego, más la inversión que pagan los usuarios por los proyectos hidráulicos que se han realizado en la zona y hacen posible el abastecimiento de agua. Para el sector agrícola de riego por bombeo, el precio usado es igual a los costos de mantenimiento de los equipos de bombeo más el costo de la energía eléctrica. Dichos costos se obtuvieron de CNA (2002b).

Para los sectores que son abastecidos con agua subterránea, los costos de distribución se calcularon con la diferencia entre precio, o tarifa, que pagan los consumidores finales y los costos de extracción. Se consideró que dicha diferencia (que en realidad es un margen de distribución) refleja todos los costos que involucra el abastecimiento. Para el sector agrícola abastecido con agua rodada, los costos de envío de agua contemplaron el precio del agua de riego por gravedad, los cuales se diferencian espacialmente, siendo menores los más cercanos a la presa y mayores para los puntos más alejados; la información provino de la CNA (2004)⁹. La solución del modelo se obtuvo

The solution of the base model was obtained using demand functions, costs of extraction and costs of delivery of underground and surface water. Using the demand price elasticity, the prices and amounts demanded, 12 demand functions were estimated per consumer region. The elasticities reported by Guzmán (2005)⁴ were used: -0.108 for pumped irrigation agriculture, -0.023 for surface irrigation agriculture, -0.0032 for the residential sector, -0.002 for livestock and -0.178 for industry.

The residential consumption of water per municipality was obtained by multiplying the number of dwellings by the consumption per dwelling, and the information was obtained from INEGI (2001), SIMAS (2004)⁵, SIDEAPA (2004)⁶ and SIMAS Torreón-Matamoros (2004)⁷. The industrial consumption was obtained by adding the volumes that were authorized and those consumed by the industries connected to the systems of drinking water (CNA, 2002b). The annual consumption was divided by 12 to obtain monthly data. The municipal agricultural consumption was obtained by multiplying the municipal surface of each crop by the respective irrigation depth, considering technologies of surface and pumping. The calendar of planting and harvest was used to calculate monthly data, and the information was obtained from SAGARPA (2001-2004), CNA (2002b), and Godínez (2005)⁸. To obtain the livestock consumption, the inventory by animal specie and municipality was multiplied by the water requirements; the information was obtained from SAGARPA (2001-2004).

To calculate demand functions in the residential, industrial, and livestock sectors, the monthly tariffs charged by the operating organisms were used; the information was obtained from SIMAS (2004)⁵, SIDEAPA (2004)⁶ and SIMAS Torreón-Matamoros (2004)⁷. In the surface irrigation agricultural sector, the price is equal to the average irrigation quota, obtained from the current quotas for irrigation service for the users of the irrigation modules, plus the investment paid by the users for the hydraulic projects that have been carried out in the zone to insure the water supply. For the pumped irrigation agricultural sector, the price used is equal to the costs of maintenance of the pumping equipment plus the cost of electric energy. These costs were obtained from CNA (2002b).

For the sectors that are supplied with underground water, the distribution costs were calculated with the difference between price, or tariff, that the final consumers pay and the costs of extraction. It was considered that this difference (which is really a margin of distribution) reflects all of the costs implied by supplying. For the agricultural sector supplied with surface water, the costs of delivering water included the price of surface irrigation water, which are spatially differentiated, being lower closer to the dam and higher for the more distant points; the information was obtained from the CNA (2004)⁹.

⁵ SIMAS (Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento). Información proporcionada por la Gerencia Comercial. Torreón, Coahuila. 2004.

⁶ SIDEAPA (Sistema Descentralizado de Agua Potable y Alcantarillado). Información proporcionada por la Gerencia Comercial. Gómez Palacio, Durango. 2004.

⁷ SIMAS TORREÓN-MATAMOROS. (Sistema Intermunicipal de Aguas y Saneamiento Torreón-Matamoros). Información proporcionada por la Gerencia Comercial. Torreón, Coahuila. 2004.

⁸ Godínez, M. L. El Valor Económico del Agua en el Sector Agrícola de la Comarca Lagunera. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 155 p.

⁹ Comisión Nacional del Agua (CNA). Información proporcionada por el Distrito de Riego 017 de la Comarca Lagunera. Ciudad Lerdo, Durango. 2004.

utilizando el procedimiento MINOS, escrito en el lenguaje de programación GAMS (General Algebraic Modeling Systems).

The solution of the model was obtained by using the MINOS procedure, written in GAMS (General Algebraic Modeling Systems).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 1 y 2 se presenta la validación del modelo y los resultados de los escenarios. La información usada para obtener el modelo base se calculó bajo diversos supuestos, de ahí que la veracidad de los resultados dependa de la calidad de las cantidades, precios y elasticidades utilizadas. En el Cuadro 1 se presentan los resultados del modelo y los valores promedio observados en 2001-2003. Para el consumo de agua, la solución del modelo fue muy cercana a los niveles observados en 2001-2003. En los precios se observan discrepancias mayores, ya que el modelo sobreestima los precios en los sectores agrícola de riego por bombeo y gravedad en 6.7 y 1.6%. En cambio, en los sectores residencial, pecuario e industrial el modelo subestima los precios en 2.2, 2.4 y 0.5%.

RESULTS AND DISCUSSION

Tables 1 and 2 show the validation of the model and the results of the scenarios. The information used to obtain the base model was calculated under diverse assumptions, thus, the veracity of the results depends on the quality of the quantities, prices and elasticities used. Table 1 shows the results of the model and the average values observed in 2001-2003. For water consumption, the solution of the model was very close to the levels observed in 2001-2003. Greater discrepancies were observed in the prices, given that the model overestimates the prices in the pumped and surface irrigation sectors by 6.7 and 1.6%. On the other hand, in the residential, livestock and industrial sectors, the model underestimates the prices by 2.2, 2.4 and 0.5%.

Cuadro 1. Validación del modelo de agua en la Comarca Lagunera, México. (Promedio en el periodo 2001-2003).
Table 1. Validation of the model of water in the Comarca Lagunera, México. (Average in the period 2001-2003).

Sector	Consumo				Precios			
	Datos observados 2001-03	Modelo base	Cambio	Cambio %	Datos observados 2001-03	Modelo base	Cambio	Cambio %
	miles de m ³				Pesos por 1000 m ³			
Agrícola-Bombeo	878 835	872 505	-6330	-0.7	1500	1601	101	6.7
Agrícola-Gravedad	539 833	539 220	-613	-0.1	550	559	9	1.6
Urbano	67 771	67 774	3	0.0	3552	3475	-77	-2.2
Pecuario	44 186	44 187	1	0.0	3552	3468	-84	-2.4
Industrial	28 863	28 954	91	0.3	7431	7392	-39	-0.5
Total	1 559 488	1 552 640	-6848	-0.4				

Cuadro 2. Efectos de la disminución en las extracciones de agua subterránea.
Table 2. Effects of the reduction of underground water extractions.

Sector consumidor	Modelo base 1	Reducción ex- tracción en 10% 2	Reducción ex- tracción en 20% 3	Cambio 4=2-1	Cambio 5=3-1	Cambio % 4/1	Cambio % 5/1
Consumo (miles de m ³)							
Agrícola-Bombeo	872 505	772 718	672 928	-99 787	-199 577	-11.4	-22.9
Agrícola-Gravedad	539 220	539 220	539 220	0	0	0.0	0.0
Urbano	67 774	67 665	67 555	-109	-219	-0.2	-0.3
Pecuario	44 187	44 140	44 099	-47	-88	-0.1	-0.2
Industrial	28 954	27 555	26 157	-1399	-2797	-4.8	-9.7
Total	1 552 640	1 451 298	1 349 959	-101 342	-202 681	-6.5	-13.1
Precio (pesos por 1000 m ³)							
Agrícola-Bombeo	1601	3180	4761	1579	3160	98.6	197.4
Agrícola-Gravedad	559	559	559	0	0	0.0	0.0
Urbano	3475	5329	6823	1854	3348	53.4	96.3
Pecuario	3468	5565	6428	2097	2960	60.5	85.4
Industrial	7392	8981	10536	1589	3144	21.5	42.5

Los datos del modelo base indican que en 2001-2003 la demanda promedio de agua fue 1552.6 hm³. Del total, la agricultura consumió 90.9%, el sector residencial 4.4%, la ganadería 2.8% y la industria 1.9%. El modelo base indica que el consumo de agua subterránea fue 1013.4 hm³. Así, una reducción de 10% ubica las extracciones en 912.1 hm³. Una contracción en la oferta de agua aumenta los precios y disminuye la demanda para llegar a un nuevo equilibrio. El mayor impacto se daría en el sector agrícola que usa agua subterránea, donde el precio aumentaría 98.6% respecto a los niveles observados en 2001-2003. El aumento en el precio de los demás sectores sería menor; por ejemplo, en el sector residencial sería 53.4%; en el pecuario 60.5%; y en la industria 21.5% (Cuadro 2).

Como consecuencia del aumento en el precio, la demanda de agua disminuye en cada sector consumidor para llegar a un nuevo equilibrio. Por efecto del aumento en el precio, la demanda agrícola disminuye 11.4%; la del sector residencial 0.2%; la del pecuario 0.1%; y la industrial 4.8%. La contracción en la disponibilidad de agua afectaría en mayor medida a los sectores en los que el agua tiene menor valor de uso.

Si se quisiera disminuir 20% las extracciones de agua (más de 200 hm³) el precio tendría que aumentar (en %) 197.4 en el sector agrícola, 96.3 en el urbano, 85.4 en el pecuario y 42.5 en el industrial. Los incrementos ocasionarían disminuciones de 22.9, 0.3, 0.2 y 9.7% en la demanda respectiva de esos sectores.

El precio del agua en el sector agrícola de riego por bombeo podría aumentar si se eliminaran los subsidios existentes en la tarifa de energía eléctrica aplicada a la agricultura. Tal aumento encarecería el recurso, induciendo al productor a la adopción de una tecnología ahorradora de agua, o a un cambio en la estructura productiva del sector.

CONCLUSIONES

Una asignación eficiente del agua en la Comarca Lagunera requiere que la demanda disminuya en los sectores donde el valor de uso del recurso es menor, como en la agricultura de riego por bombeo y la industria. Una disminución en las extracciones de agua podría lograrse bajando la demanda en el sector agrícola de riego por bombeo, por ser el sector más sensible a cambios en el precio. Debido a que el actual nivel de extracción de agua subterránea representa una asignación intergeneracional ineficiente, se recomienda la eliminación de cualquier distorsión en el precio de la energía eléctrica, principal insumo del costo de extracción de agua subterránea.

The data of the base model indicate that in 2001-2003, the average water demand was 1 552.6 hm³. Of the total, agriculture consumed 90.9%, the residential sector 4.4%, livestock 2.8% and industry 1.9%. The base model indicates that the consumption of underground water was 1013.4 hm³. Thus, a reduction of 10% places the extractions at 912.1 hm³. A contraction in the water supply increases the prices and reduces the demand, reaching a new equilibrium. The greatest impact would take place in the agricultural sector that uses underground water, where the price would increase 98.6% with respect to the levels observed in 2001-2003. The increase in the price of the other sectors would be lower; for example, in the residential sector, it would be 53.4%; in the livestock sector 60.5%; and in industry 21.5% (Table 2).

As a consequence of the price increase, the water demand is reduced in each consuming sector, reaching a new equilibrium. Due to the price increase, the agricultural demand is reduced by 11.4%; that of the residential sector, 0.2%; that of livestock, 0.1%; and that of industry, 4.8%. The contraction in water availability would have the greatest impact on the sectors in which water has the lowest use value.

In order to achieve 20% reduction in water extractions (more than 200 hm³), the price would have to increase by 197.4% in the agricultural sector, 96.3% in the urban sector, 85.4% in the livestock sector and 42.5% in industry. The increases would cause reductions of 22.9, 0.3, 0.2 and 9.7% in the demand of those sectors.

The price of water in the pumped irrigation agricultural sector could be increased if the existing subsidies were eliminated in the tariff of electric energy applied to agriculture. This increase would make the resource more expensive, inducing the producer to adopt water saving technology, or a change in the productive structure of the sector.

CONCLUSIONS

An efficient allocation of water in the Comarca Lagunera requires a reduction in the demand in the sectors where the use value of the resource is lower, as in pumped irrigation agriculture and industry. A reduction in water extractions could be achieved by reducing the demand in the pumped irrigation agricultural sector, as it is the sector which is the most sensitive to price changes. Due to the fact that the present level of underground water extraction represents an inefficient intergenerational allocation, the elimination of any distortion in the price of electric energy is recommended, as it is the principal component of the costs of underground water extraction.

LITERATURA CITADA

- Babin, F., C. Willis, and P. Allan. 1982. Estimation of Substitution Possibilities between Water and other Production Inputs. *Am. J. Agric. Econ.* 64 (1): 148-51.
- Billings, B. R., and D. Agthe. 1980. Price Elasticities for Water: A Case of Increasing Block Rates. *Land Economics.* 56(Feb):73-84.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2001. Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025 de la Región VII Cuencas Centrales del Norte. Torreón, Coahuila. 293 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002a. Priorización de Acciones Detalladas 2002-2006. Gerencia Regional VII, Cuencas Centrales del Norte. Torreón, Coahuila. 33 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002b. Valor, Costo y Precio del Agua en la Región Lagunera. Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral. México, D. F. 73 p.
- DeRooy, Y. 1974. Price Responsiveness of the Industrial Demand for Water. *Water Resources Research.* 10(3): 403-6.
- El Siglo de Torreón. 2005. Resumen Económico de la Comarca Lagunera, 2004. Torreón, Coahuila. 96 p.
- Gibbs, K. C. 1978. Price Variable in Residential Water Demand Models. *Water Resources Research.* 14(Feb):15-18.
- Grebenstein, C., and B. Field. 1979. Substituting for Water Inputs in U.S. Manufacturing. *Water Resources Research.* 15(2): 228-32.
- Hanke, H. S., and L. de Maré. 1982. Residential Water Demand: A Polled, Time Series, Cross Section Study of Malmo, Sweden. *Water Resources Research.* 18(Aug): 621-25.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. Censo General de Población y Vivienda. Aguascalientes, Ags. 1645 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2004. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa. <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieinti.exe>.
- Jones, C.V., and J. Morris. 1984. Instrumental Price Estimates and Residential Water Demand. *Water Resources Research.* 20(2): 197-202.
- Lyman, R. A. 1992. Peak and Off-Peak Residential Water Demand. *Water Resources Research.* 28(9):2159-2167.
- Renzetti, S. 1988. An Econometric Study of Industrial Water Demands in British Columbia, Canada. *Water Resources Research.* 24(10): 1569-1573.
- Rizaiza, O. 1991. Residential Water Usage: A Case Study of the Mayor Cities of the Western Region of Saudi Arabia. *Water Resources Research.* 27 (May): 667-71.
- SAGARPA (Secretaría de Agr., Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2001-2004. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria, Comarca Lagunera. Ciudad Lerdo, Durango. 251 p.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2005. Resumen Nacional sobre Producción, Precio y Valor de Productos Pecuarios. www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuapec
- Williams, M., and B. Suh. 1986. The Demand for Water by Customer Class. *Applied Economics.* 18:1275-89.