

CONSUMO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN GUANAJUATO, MÉXICO

GROUNDWATER CONSUMPTION IN GUANAJUATO, MÉXICO

Eugenio Guzmán-Soria¹, Juvencio Hernández-Martínez², José A. García-Salazar³, Samuel Rebollar-Rebollar²,
M. Teresa de la Garza-Carranza¹, Daniel Hernández-Soto¹

¹Posgrado de Administración. Instituto Tecnológico de Celaya. Avenida Tecnológico y A. García Cubas S/N. CP 38010. Celaya, Guanajuato. (eugenio@itc.mx). ²Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Colonia Barrio de Santiago S/N, Temascaltepec, C.P.51300. Estado de México. ³Economía. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

RESUMEN

El problema de sobreexplotación de acuíferos en México se agudiza debido a la baja eficiencia en el uso del recurso y a la contaminación de las fuentes de abastecimiento. La situación del estado de Guanajuato es grave y requiere alternativas de solución que pueden darse mediante recomendaciones de política que contribuyan a hacer más eficiente y racional el uso del vital líquido. En este trabajo se determinaron los factores que afectan el consumo de agua en los sectores urbano, pecuario, agrícola de riego e industrial del estado, para lo cual se estimó un modelo de ecuaciones simultáneas compuesto de cuatro ecuaciones de demanda y cuatro identidades para el período 1980-2004. El análisis de los resultados muestra que la cantidad consumida de agua responde de manera inelástica a cambios en el precio, con elasticidades de -0.0150 para el sector urbano, -0.0038 para el pecuario, -0.052 para la agricultura de riego (se utilizó la cuota de mantenimiento de la infraestructura del Distrito de Riego más el efecto del costo de la energía eléctrica para uso agrícola, ya que el agua es gratuita) y -0.126 para el sector industrial. Estas elasticidades indican que el consumo de agua en los sectores urbano y pecuario es más insensible a cambios en el precio, que en el industrial y agrícola de riego. Por tanto, las políticas de administración del consumo deberán considerar aumentos en estos sectores, pues se puede reducir en 1 % la cantidad consumida de la industria y la agricultura de riego aumentando el precio del agua en 7.93 y 19.2 %.

Palabras clave: Agricultura de riego, consumo de agua en los sectores urbano e industrial, elasticidad, modelo de ecuaciones simultáneas, pecuario.

ABSTRACT

The problem of overexploitation of groundwater in Mexico is aggravated by the low efficiency in the use of the resource and the contamination of the supply sources. The situation of the state of Guanajuato is serious and requires alternatives of solution that could come about from recommendations of policy that contribute to making a more efficient and rational use of this vital liquid. In the present work the factors that affect water consumption were determined in the urban, livestock, irrigation agriculture and industrial sectors of the state, for which a model of simultaneous equations was estimated comprised of four equations of demand and four identities for the period 1980-2004. The analysis of results show that the amount of water consumed responds inelastically to changes in price, with elasticities of -0.0150 for the urban sector, -0.0038 for the livestock sector and -0.052 for irrigation agriculture (the quota of maintenance of the infrastructure of the Irrigation District was used, plus the effect of the cost of electric energy for agricultural use, given that the water is free) and -0.126 for the industrial sector. These elasticities indicate that water consumption in the urban and livestock sectors is more insensitive to changes in price, than in the industrial and irrigation agriculture sectors. Therefore, the policies of the administration of consumption should consider increases in these sectors, given that it is possible to reduce of 1 % the amount consumed by industry and irrigation agriculture, increasing the price of water by 7.93 and 19.2 %.

Key words: Irrigation agriculture, water consumption in the urban and industrial sectors, elasticity, model of simultaneous equations, livestock.

INTRODUCTION

According to the Law of National Waters in México, water may have consumptive and non-consumptive uses; among the former are urban

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2008. Aprobado: Agosto, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 749-761. 2009.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales en México, el agua puede tener usos consuntivos y no consuntivos; entre los primeros están el abastecimiento urbano, la agricultura, el pecuario y la industria, y entre los segundos la producción de energía eléctrica, la refrigeración de plantas industriales y centrales energéticas, la acuicultura y los caudales con fines ambientales y paisajísticos. Aunque estas demandas no consumen prácticamente agua, condicionan y limitan el suministro de los usos consuntivos porque tienen que estar disponibles en el momento y lugar requeridos, y con la calidad adecuada (IMTA, 2003). En México existe un grave problema de sobreexplotación de acuíferos. De los 188 acuíferos más importantes que abastecen 66 % del agua usada en el país y donde se capta 79 % de la recarga de agua subterránea, 80 están sobreexplotados, lo que implica que las condiciones hidrogeológicas quizás estén cambiando ya que el volumen de agua en los acuíferos se ha modificado (Ávila *et al.*, 2005; Fornes *et al.*, 2005) y la competencia entre los diferentes tipos de usuarios será mayor.

La competencia por el uso del agua entre los diferentes sectores consumidores de cualquier región está determinada por los diferentes tipos de consumidores (usuarios) y por la baja y decreciente disponibilidad del recurso. Con base en la clasificación hecha por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la mayor parte del territorio del estado de Guanajuato pertenece a la región hidrológico-administrativa Lerma-Santiago-Pacífico, la cual durante el 2005 fue calificada con un grado de presión⁴ media-fuerte sobre el recurso hídrico (32 %, mayor a 40 % es ya calificado como fuerte presión) y ocupó el segundo lugar como la región hidrológico-administrativa con mayor densidad de población: 106 hab km⁻² (SEMARNAT-CONAGUA, 2006).

La demanda de agua para uso urbano en Guanajuato proviene fundamentalmente del crecimiento de la población urbana en las ciudades grandes y medias del estado (la tasa de crecimiento media anual –TCMA– de la población urbana fue 1.31 % durante el periodo de 1995-2000). Esto ha provocado en años recientes un aumento en el número de tomas domiciliarias en las principales ciudades del estado. El Consejo Nacional

supply, agriculture, livestock production and industry, and among the latter are production of electric energy, refrigeration of industrial plants and energy plants, aquaculture and the water volumes with environmental and landscape purposes. Although these demands consume very little water, they condition and limit the administration of the consumptive uses because they have to be available at the required time and place, and with adequate quality (IMTA, 2003). In México there is a serious problem of overexploitation of groundwater. Of the 188 most important aquifers which supply 66 % of the water used in the country and in which 79 % of the refill of groundwater is captured, 80 are overexploited, which implies that the hydrological conditions may be changing, given that the volume of water in the aquifers has been modified (Ávila *et al.*, 2005; Fornes *et al.*, 2005) and the competition among the different types of consumers will be higher.

The competition for the use of water among the different sectors of consumers of any region is determined by the different types of consumers (users) and by the low and decreasing availability of the resource. Based on the classification made by the National Water Council (CONAGUA), most of the territory of the state of Guanajuato pertains to the Lerma-Santiago-Pacific hydrological-administrative region, which during 2005 was qualified with a medium-high degree of pressure⁴ on the hydric resource (32 %, higher than 40 % is classified as high pressure) and occupied second place as the hydrological-administrative region with highest population density 106 inhab km⁻² (SEMARNAT-CONAGUA, 2006).

The water demand for urban use in Guanajuato is primarily from the growth of the urban population of the large and medium sized cities of the state (the mean annual growth rate – MAGR – of the urban population was 1.31 % during the period 1995-2000). This has caused an increase in recent years in the number of domestic connections in the principal cities of the state. The National Population Council estimates that for 2010, 71 % of the state's population will be urban (CONAPO, 2005).

The growth of industrial production, located in industrial parks, has determined an increase in the amount of water consumed for its use in diverse

⁴ El grado de presión sobre el recurso hídrico es definido como el volumen total de agua concesionado entre la disponibilidad natural media de agua.

de Población estima que para el 2010 un 71 % de la población del estado será urbana (CONAPO, 2005).

El crecimiento de la producción industrial, ubicado en los parques industriales, ha determinado un aumento en la cantidad consumida de agua para su uso en diversos procesos industriales. La TCMA registrada por el Producto Interno Bruto (PIB) generado por el sector industrial del estado de 1995 a 2004 fue 7.61 % (INEGI-BIE, 2007a).

La importancia del sector pecuario en el estado se refleja en las TCMA del inventario de las especies: bovino para leche (2.53 %), ave para carne (6.64 %), ave para huevo (3 %), ovino (1.34 %), bovino para carne (1.56 %) y porcino (1.31 %), de 1995 a 2004. Como resultado, durante 2004 Guanajuato representó de los inventarios nacionales: 6.97 % de bovino para leche, 6.29 % de aves para carne, 4.74 % de aves para huevo, 4.22 % de ovino, 2.4 % de bovino para carne, 6.42 % de porcino y, no obstante que el dinamismo del ganado caprino del estado decayó a una TCMA de -1.31 %, representó 5 % del inventario caprino nacional. De estas especies, sólo los porcinos y el ganado lechero son importantes consumidores de agua (SAGARPA-SIAP, 1980-2004).

El mayor consumidor de agua es el sector agrícola; la superficie sembrada con riego ascendía a 493 720 ha en 1995 y en sólo ocho años aumentó a 554 306 ha; es decir, se sumaron 60 586 ha. Los cultivos que más incrementaron su superficie sembrada durante el periodo de 2000 a 2004 fueron la cebada grano, trigo grano y maíz grano, los cuales registraron una TCMA de 35.89, 6.57 y 6.18 %.

El PIB generado por el sector agropecuario en el estado de Guanajuato ha mantenido un crecimiento constante de 1995 a 2004, registrando una TCMA de 0.68%.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar los factores que afectan el consumo de agua en los cuatro principales sectores consumidores del estado de Guanajuato, con el propósito de analizar posibles escenarios de disminución del consumo de agua mediante la modificación de dichos factores. La hipótesis fue que el consumo de agua subterránea en el estado está determinado, inversamente, por las tarifas cobradas, el precio de la energía eléctrica y la precipitación pluvial, y en forma directa por el PIB per cápita, el precio de los productos finales obtenidos en el sector agrícola y la temperatura.

industrial processes. The MAGR registered for the Gross National Product (GNP) generated by the industrial sector of the state during from 1995 to 2004 was 7.61 % (INEGI-BIE, 2007a).

The importance of the livestock sector in the state is reflected in the MAGR shown by the inventory of the following species: dairy cattle (2.53 %), broiler (6.64 %), laying hens (3 %), sheep (1.34 %), beef cattle (156 %) and pork (1.31 %) during the period of 1995 to 2004. As a result, during 2004 Guanajuato represented of the national inventories, 6.97 % of dairy cattle, 6.29 % of broiler, 4.74 % of laying hens, 4.22 % of sheep, 2.4 % of beef cattle, 6.42 % of pork, and despite the fact that the dynamism of goat herds fell to a MAGR of -1.31 %, it represented 5 % of the national goat inventory. Of these species, only pork and dairy cattle are important consumers of water (SAGARPA-SIAP, 1980-2004).

The highest consumer of water is the agricultural sector; the sown surface under irrigation ascended to 493 720 ha in 1995 and in only eight years this area increased to 554 306 ha; that is, 60 586 ha were added. The crops that showed the highest increase in sown surface during the period from 2000 to 2004 were barley grain, wheat grain and maize grain, which registered a MAGR of 35.89, 6.57 and 6.18 %, respectively.

The GNP generated by the in the state of Guanajuato agricultural sector has maintained a constant growth during the period of 1995 to 2004, registering a MAGR of 0.68 %.

Therefore, the objective of the present work was to determine the factors that affect water consumption in the four principal consumer sectors of the state of Guanajuato, for the purpose of analyzing possible scenarios of decrease in water consumption through the modification of these factors. The hypothesis was that the consumption of groundwater in the state is determined, inversely, by the tariffs that are collected, the price of electric energy and rainfall, and in direct form by the per capita GNP, the price of the final products obtained in the agricultural sector and temperature.

MATERIALS AND METHODS

The model

The relationship between the determining factors of the demand and the amount of groundwater consumed in the state was

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo

La relación entre los factores determinantes de la demanda y la cantidad consumida de agua subterránea en el estado fue determinada mediante el cálculo de elasticidades económicas, que miden la relación entre estas variables. Para ello, se utilizaron los resultados obtenidos vía un modelo de ecuaciones simultáneas del consumo de agua compuesto de cuatro ecuaciones de demanda y cuatro identidades. El modelo utilizado fue:

$$CPU_t = b_{11} + b_{12} PAPR_t + b_{13} PEUDR_t + b_{14} PIBPRL_{t-1} + b_{15} TEMP_t + \varepsilon_{1t} \quad (1)$$

$$QCU_t = 4043143 \times CPU_t \quad (2)$$

$$QCI_t = b_{21} + b_{22} PAPIRL_{t-1} + b_{23} PEUIRL_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (3)$$

$$CPP_t = b_{31} + b_{32} PAPR2L_{t-2} + b_{33} PEUDR2L_{t-2} + \varepsilon_{3t} \quad (4)$$

$$QCP_t = 750903 \times CPP_t \quad (5)$$

$$CPAR_t = b_{41} + b_{42} PARR_t + b_{43} PFERTR_t + b_{44} PAGRIPR_t + b_{45} PPL_{t-1} + \varepsilon_{4t} \quad (6)$$

$$QCAR_t = 476924 \times CPAR_t \quad (7)$$

$$QCST_t = QCU_t + QCI_t + QCP_t + QCAR_t \quad (8)$$

donde, CPU_t =consumo per cápita de agua por el sector urbano (m^3 habitante $^{-1}$); $PAPR_t$ =precio real del agua potable para uso doméstico ($\$ m^{-3}$); $PEUDR_t$ = precio real de la electricidad para uso doméstico ($\$$ por kilowatt-hora); $PIBPRL_{t-1}$ =Producto Interno Bruto per cápita real con un año de rezago ($\$$ habitante $^{-1}$); $TEMP_t$ = temperatura media anual ($^{\circ}C$); QCU_t =cantidad consumida de agua para uso urbano (m^3); QCI_t =cantidad consumida de agua por el sector industrial (m^3); $PAPIRL_{t-1}$ =precio real del agua potable para uso industrial con un año de rezago ($\$ m^{-3}$); $PEUIRL_{t-1}$ = precio real de la electricidad para uso industrial con un año de rezago ($\$$ kilowatt-hora $^{-1}$); CPP_t =consumo per cápita de agua por el sector pecuario (m^3 cabeza $^{-1}$); $PAPR2L_{t-2}$ =precio real del agua potable para uso doméstico con dos años de rezago ($\$ m^{-3}$); $PEUDR2L_{t-2}$ = precio real de la electricidad para uso doméstico con dos años de rezago ($\$$ por kilowatt-hora); QCP_t = cantidad consumida de agua para uso pecuario (m^3); $CPAR_t$ =consumo de agua por hectárea bajo riego (m^3 ha $^{-1}$); $PARR_t$ = precio real del agua para riego ($\$$ ha $^{-1}$); $PFERTR_t$ =precio real del fertilizante ($\$ t^{-1}$); $PAGRIPR_t$ = precio agrícola real ponderado ($\$ t^{-1}$); PPL_{t-1} =precipitación pluvial media anual del estado con un año de rezago (mm^3); $QCAR_t$ = cantidad consumida de agua por la superficie bajo riego (m^3); $QCST_t$ = cantidad consumida total de agua subterránea en el estado (m^3).

El modelo propuesto está basado en evidencia empírica. Para el sector residencial Höglund (1999), Saleth y Dinar (2001) y Jaramillo (2003), propusieron una función de demanda de agua

determined through the calculation of economic elasticities that measure the relationship among these variables. For this purpose, the results obtained through a model of simultaneous equations of water consumption were used, comprised of four equations of demand and four identities. The model used was as follows:

$$CPU_t = b_{11} + b_{12} PAPR_t + b_{13} PEUDR_t + b_{14} PIBPRL_{t-1} + b_{15} TEMP_t + \varepsilon_{1t} \quad (1)$$

$$QCU_t = 4043143 \times CPU_t \quad (2)$$

$$QCI_t = b_{21} + b_{22} PAPIRL_{t-1} + b_{23} PEUIRL_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (3)$$

$$CPP_t = b_{31} + b_{32} PAPR2L_{t-2} + b_{33} PEUDR2L_{t-2} + \varepsilon_{3t} \quad (4)$$

$$QCP_t = 750903 \times CPP_t \quad (5)$$

$$CPAR_t = b_{41} + b_{42} PARR_t + b_{43} PFERTR_t + b_{44} PAGRIPR_t + b_{45} PPL_{t-1} + \varepsilon_{4t} \quad (6)$$

$$QCAR_t = 476924 \times CPAR_t \quad (7)$$

$$QCST_t = QCU_t + QCI_t + QCP_t + QCAR_t \quad (8)$$

where CPU_t = per capita water consumption by the urban sector (m^3 inhabitant $^{-1}$); $PAPR_t$ = real price of drinking water for domestic use ($\$ m^{-3}$); $PEUDR_t$ = real price of electricity for domestic use ($\$$ per kilowatt-hour); $PIBPRL_{t-1}$ =Gross National Product per real capita with one year of deferment ($\$$ inhabitant $^{-1}$); $TEMP_t$ = mean annual temperature ($^{\circ}C$); QCU_t = amount of water consumed for urban use (m^3); QCI_t = amount of water consumed by the industrial sector (m^3); $PAPIRL_{t-1}$ =real price of drinking water for industrial use with one year of deferment ($\$ m^{-3}$); $PEUIRL_{t-1}$ =real price of electricity for industrial use with one year of deferment ($\$ m^{-3}$); $PEUIRL_{t-1}$ =real price of electricity for industrial use with one year of deferment ($\$$ kilowatt-hour $^{-1}$); CPP_t = per capita water consumption of the livestock sector (m^3 head $^{-1}$); $PAPR2L_{t-2}$ = real price of drinking water for domestic use with two years deferment ($\$ m^{-3}$); $PEUDR2L_{t-2}$ =real price of electricity for domestic use with two years of deferment ($\$$ per kilowatt-hour); QCP_t = amount of water consumed for livestock use (m^3); $CPAR_t$ = water consumption per hectare under irrigation (m^3 ha $^{-1}$); $PARR_t$ real price of water for irrigation ($\$$ ha $^{-1}$); $PFERTR_t$ = real price of fertilizer ($\$ t^{-1}$); $PAGRIPR_t$ = weighted real agricultural price ($\$ t^{-1}$); PPL_{t-1} = mean annual rainfall of the state with a year of deferment (mm^3); $QCAR_t$ = amount of water consumed for the surface under irrigation (m^3); $QCST_t$ = total amount of groundwater consumed in the state (m^3).

The proposed model is based on empirical evidence. For the residential sector, Höglund (1999), Saleth and Dinar (2001) and Jaramillo (2003), proposed a function of per capita water demand (Equation 1) derived from a model of domestic production of final consumption goods. The model takes the price of water, energy, income and temperature as factors that affect consumption. It considers that water is consumed in households in connection with different tasks: food preparation, personal hygiene, cleaning

per capita (Ecuación 1) derivada de un modelo de producción doméstica de bienes de consumo final. El modelo toma el precio del agua, la energía, el ingreso y la temperatura como factores que afectan el consumo y considera que el agua es consumida en los hogares en conexión con diferentes tareas: preparación de alimentos, higiene personal, lavado de la casa, de ropa y de utensilios de cocina, etc., o consumo de bienes finales: aparatos electrodomésticos, jabón, etc. y que cada tarea envuelve, en la mayoría de los casos, el uso de la energía eléctrica. La Ecuación 2 corresponde al consumo total de agua para uso urbano y se obtuvo multiplicando el promedio de habitantes del estado por el consumo per capita de agua.

La función del consumo de agua para uso industrial (Ecuación 3) se estableció con base en estudios sobre la estructura de su consumo en países desarrollados (Guerrero, 2005; Surrender, 2006; García *et al.*, 2007). Se supone que las industrias en el estado usan el agua como insumo intermedio (refrescar, cocer, crear movimiento, elaborar bebidas, lavar utensilios, mantener la higiene, etc.) y que una industria escoge su nivel de utilización del insumo para minimizar su costo de producción. La función del consumo de agua del sector industrial parte del supuesto de que el uso del agua es separable de otros insumos como la energía eléctrica y se representó en la Ecuación 3.

Para los sectores pecuario y agrícola de riego, su consumo de agua fue modelado con base en evidencia empírica reportada por Amir y Fisher (1999), Vere y Griffit (2004) y Verbic y Slabe-Erker (2009). Estos consumos se representaron en las ecuaciones 4 y 6; en la 6 está el precio de los principales insumos y productos finales, así como la precipitación pluvial. La Ecuación 5 corresponde al consumo de agua en el estado para uso pecuario y se obtuvo multiplicando el promedio de cabezas (homogeneizado a bovino lechero, usando como ponderador su consumo de agua anual por cabeza) por su consumo per cápita. La Ecuación 7 es similar a la 5 e indican el consumo de agua por el sector agrícola de riego en el estado. La Ecuación 8 establece la cantidad consumida total de agua en el estado, por los cuatro principales sectores consumidores.

Datos

El agua es un servicio público gratuito para el sector agropecuario y subsidiado para otros sectores, por el cual se cobran cuotas anuales o bimestrales que no reflejan el costo real, y mucho menos guardan relación con la escasez del recurso. Esto lleva a la ausencia de series de tiempo oficiales sobre los volúmenes consumidos de agua por tipo de consumidor. Este trabajo pretende ser un primer acercamiento al consumo de agua subterránea por tipo de consumidor en el estado de Guanajuato.

of the house, clothes and kitchen utensils, etc., or consumption of final goods: electrodomestic apparatuses, soap, etc., and that each task involves, in most cases, the use of electric energy. Equation 2 corresponds to the total water consumption for urban use and was obtained by multiplying the average of inhabitants of the state by the per capita water consumption.

The function of water consumption for industrial use (Equation 3) was established based on studies of the structure of its consumption in developed countries (Guerrero, 2005; Surrender, 2006; García *et al.*, 2007). It is assumed that the industries in the state use water as an intermediate input (to cool, cook, create movement, make beverages, wash utensils, maintain hygiene, etc.) and that an industry chooses its level of use of the input to minimize its production cost. The function of the water consumption of the industrial sector is based on the assumption that the use of water is separable from other inputs such as electric energy and is represented in Equation 3.

For the livestock and irrigation agriculture sectors, their water consumption was modified based on empirical reported by Amir and Fisher (1999), Vere and Griffit (2004) and Verbic and Slabe-Erker (2009). These consumptions were represented through in 4 and 6; in equation 6 is the price of the principal inputs and final products, as well as rainfall. Equation 5 corresponds to water consumption in the state for livestock use and was obtained by multiplying the average of heads (homogenized to dairy cattle, using as weighter the annual water consumption per head) by the per capita consumption. Equation 7 is similar to equation 5 and they indicate the water consumption of the irrigation agriculture sector in the state. Equation 8 establishes the total amount of water consumed in the state, by the four principal consumer sectors.

Data

Water is a free public service for the agricultural and livestock sector and is subsidized by other sectors, for which annual or bimestral fees are charged that do not reflect the real cost, nor do they have any relationship with the scarcity of the resource. This leads to the absence of official time series of the volumes of water consumed per type of consumer. This work intends to be a first approach to the consumption of groundwater per type of consumer in the state of Guanajuato.

An explanation should be made of the variables used to measure the price of water of each type for each type of consumer. For the urban sector, as proxy variable of the price, the fee of drinking water charged to the domestic sector was used for the range of consumption of 11-20 m³, in which approximately 70 % of the state population is found. For the industrial sector, the rate corresponding to the consumption range of over 100 m³ was considered. For irrigation agriculture the quota paid to the

Cabe explicar las variables usadas para medir el precio del agua de cada tipo de consumidor. Para el sector urbano fue usada como variable proxy al precio, la tarifa de agua potable cobrada al sector doméstico para el rango de consumo de 11- 20 m³, en el cual se encuentra aproximadamente 70 % de población estatal. Para el sector industrial se consideró la tarifa correspondiente al rango de consumo superior a 100 m³. Para la agricultura de riego la cuota que pagan al Distrito de Riego y el costo de la energía eléctrica para uso agrícola y para el sector pecuario se utilizó la misma cuota citada, pero ajustada por la tarifa de agua potable usada para el sector industrial.

Para el sector urbano la información provino de CONAGUA (2001), JUMAPA (2007), SAPAL (2007), COTAS (2007), CONAGUA-SMN (2007), CVIA (2007), INEGI (2007), INEGI-BIE (2007b) e INEGI (varios años). La información del sector industrial provino de INEGI-BIE (2007a), INEGI-BIE (2007b), CEAG (2007), JUMAPA (2007), SAPAL (2007), COTAS (2007), CONCAMIN (2009) y CVIA (2007). Para el sector pecuario la información del inventario ganadero, la tarifa del agua potable y la del uso de la electricidad por este sector tuvieron como fuentes oficiales SAGARPA-SIAP (1980-2004), JUMAPA (2007), SAPAL (2007), COTAS (2007), CVIA (2007) e INEGI-BIE (2007b). La cantidad de agua consumida por especie animal se obtuvo de la fuente no oficial Pfizer (2004). Para el sector agrícola, la información de los precios medios rurales, la superficie sembrada por cultivo, el precio de los fertilizantes y las láminas de riego provinieron de fuentes oficiales como SAGARPA-SIAP (1980-2004), CNA (1980-1994), OEIEDRUS (2008) y Matus y Puente (1992).

Las series fueron deflactadas con el Índice de Precios Implícitos de la Electricidad, Gas y Agua; el Índice Nacional de Precios al Consumidor de la Electricidad; el Índice Nacional de Precios al Consumidor de León; el Índice Nacional de Precios al Productor del Sector Ganadero; el Índice Nacional de Precios al Productor del Sector Agrícola; y el Índice Nacional de Precios al Productor. Estos índices se obtuvieron del Banco de México (BM, 2007), de INEGI-BIE (2007b) y de INEGI-BIE (2007c).

La estimación de los coeficientes se efectuó con el método de mínimos cuadrados en dos etapas (Gujarati, 2000) usando SAS. La congruencia estadística se determinó mediante la significancia individual de cada coeficiente con la *t* de Student, o razón de *t*, la significancia global de los coeficientes de cada ecuación con la prueba de *F*, el nivel de auto correlación vía el estadístico Durbin Watson (DW) y la normalidad de las variables con la prueba Shapiro-Wilk. El modelo se validó de acuerdo con la teoría económica para los coeficientes de cada variable exógena. Con los coeficientes estimados y los valores medios de cada variable (Cuadro 1) se calcularon las elasticidades para cada factor que afecta el consumo.

Irrigation District and the cost of electric energy for agricultural use and for the livestock sector, the same price was used, but adjusted for the quota for drinking water used for the industrial sector.

For the urban sector, the information was provided by CONAGUA (2001), JUMAPA (2007), SAPAL (2007), COTAS (2007), CONAGUA-SMN (2007), CVIA (2007), INEGI (2007), INEGI-BIE (2007b) and INEGI (various years). The information of the industrial sector came from INEGI-BIE (2007a), INEGI-BIE (2007b), CEAG (2007), JUMAPA (2007), SAPAL (2007), COTAS (2007), CONCAMIN (2009) and CVIA (2007). For the livestock sector the information of the cattle inventory, the drinking water tariff and the use of electricity by this sector came from the official sources SAGARPA-SIAP (1980-2004), JUMAPA (2007), SAPAL (2007), COTAS (2007), CVIA (2007) and INEGI-BIE (2007b). The amount of water consumed per animal species was obtained from the non-official source Pfizer (2004). For the agricultural sector, the information of the mean rural prices, the sown surface per crop, the price of fertilizers and the irrigation depths were provided by official sources such as SAGARPA-SIAP (1980-2004), CAN (1980-1994), OEIEDRUS (2008) and Matus and Puente (1992).

The series were deflacted with the Index of Implicit Prices of Electricity, Gas and Water; National Index of Consumer Prices of Electricity; the National Index of Consumer Prices of León; the National Index of Prices to the Producer of the Livestock Sector; the National Index of Prices to the Producer of the Agricultural Sector; and the National Index of Prices to the Producer. These indices were obtained from the Banco de México (BM, 2007), INEGI-BIE (2007b) and INEGI-BIE (2007c).

The estimation of the coefficients was made with the least squares method in two stages (Gujarati, 2000) using SAS. The statistical congruence was determined through the individual significance of each coefficient using the *t* of Student, or ratio of *t*, the global significance of the coefficients of each equation through the *F* test, the level of self correlation via the Durbin Watson statistic (DW) and the normality of the variables with the Shapiro-Wilk test. The model was validated according to the economic theory for the coefficients of each exogenous variable. With the estimated coefficients and the mean values of each variable (Table 1), the elasticities were calculated for each factor that affects consumption.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the estimation of the model in its structural and reduced form are shown in Tables 2 and 3. The veracity of the results depends on the assumptions of the model and the quality of the information. The coefficients of determination (*R*²) of the four equations of regression for the structural

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la estimación del modelo en su forma estructural y reducida se presentan en los Cuadros 2 y 3. La veracidad de los resultados depende de los supuestos del modelo y de la calidad de la información. Los coeficientes de determinación (R^2) de las cuatro ecuaciones de regresión para el modelo estructural muestran baja bondad de ajuste con un rango de 0.37 (sector industrial) a 0.75 (sector urbano). El rango de valores del estadístico DW fue de 1.49 a 1.73, lo cual indica un bajo nivel de auto correlación entre las variables de las ecuaciones de regresión que componen el modelo. Los valores de la prueba Shapiro-Wilk por variable fueron de 0.87 a 0.96, lo que implica que su distribución se acerca a la normal. De acuerdo con la razón de t , todos los coeficientes fueron estadísticamente significativos, es decir, mayores de uno en términos absolutos y sus signos muestran congruencia con la teoría económica.

Los coeficientes de la forma estructural y los valores medios de precios y cantidades consumidas de agua en el periodo 1980-2004, permitieron calcular elasticidades económicas que relacionan el consumo de agua y las tarifas de agua y energía eléctrica.

El análisis de los resultados indica que el consumo de agua responde de manera inelástica a cambios en el precio en los diversos consumidores, con coeficientes de -0.052 para la agricultura de riego, -0.015 para el sector urbano, -0.0038 para el pecuario y -0.126 para la industria (Cuadro 4).

model show low goodness of fit with a range of 0.37 (industrial sector) to 0.75 (urban sector). The range of values of the DW statistic was 1.49 to 1.73, which indicates a low level of self correlation among the variables of the equations of regression which comprise the model. The values of the Shapiro-Wilk test per variable were from 0.87 to 0.96, which implies that their distribution approaches normal. According to the ratio of t , all of the coefficients were statistically significant, that is, higher than one in absolute terms and their signs show congruence with the economic theory.

The coefficients of the structural form and the mean values of prices and amounts of water consumed in the period 1980-2004, make it possible to calculate economic elasticities that relate water consumption and the price rates of water and electric energy.

The analysis of the results indicate that water consumption responds inelastically to changes in the price in the different consumers, with coefficients of -0.052 for irrigation agricultura, -0.015 for the urban sector, -0.0038 for the livestock sector and -0.126 for industry (Table 4).

The low elasticity consumer price is a consequence of the inexistence of substitutes of the resource, and the different magnitude per consumer is related to the degree of utility of the resource in each of them.

Consumption is more inelastic in the urban and livestock sectors, where the resource is indispensable for human and animal life. In low consumption levels it is difficult to reduce the demand, given that the limit has been reached for the existence of these consumers.

Cuadro 1. Valores medios de las variables usadas en el modelo.
Table 1. Mean values of the variables used in the model.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Variable	Media	Mínimo	Máximo
T	1992	1980	2004	QCAR	4724224935	2819471388	5874409650
QCU	217067445	167922136	255063878	CPAR	9864.24	8392	12161
CPU	53.842	52.11	55.97	PARR	283.634	123.773	1000
PAPR	9.0846618	1.0067868	52	PFERTR	275.348	148.599	534.589
PEUDR	0.1822987	0.1336634	0.237771	PAGRIPR	728.866	445.695	1256.75
PIBPRL	9117.14	3328.41	13417.72	PPL	741.796	630.5	921.5
TEMP	18.2784	17.08	19.17	QCI	24297654.8	12345057	48574532
QCP	11611327.3	10294028	13790306	PAPIRL	154.794	3.713	1091.11
CPP	17.736	17.52	17.99	PEUIRL	0.174	0.1265	0.25
PAPR2L	9.7765	1.007	52	QCST	5039727938	3054978866	6218640770
PEUDR2L	0.181	0.133	0.238				

Fuente: Elaboración propia con datos de la salida de SAS.

Cuadro 2. Coeficientes de la forma estructural del modelo, 1980-2004.
Table 2. Coefficients of the structural form of the model, 1980-2004.

Variable endógenas	Intercepto	Variables exógenas				R ²	Prob > F	DW
		PAPR	PEUDR	PIBPRL	TEMP			
CPU _t	50.2459	-0.0890	-10.699	0.00017	0.353	0.75	0.0001	1.73
Error Estándar	4.1504	0.0139	5.9458	0.00005	0.237			
Razón de t	12.106	-6.386	-1.800	3.649	1.489			
		PAPIRL	PEUIRL			0.41	0.008	1.49
QCI	49906776	-19788	-154921534					
Error Estándar	11252643	7145	66914949					
Razón de t	3.043	-2.916	-2.139					
		PAPR2L	PEUDR2L			0.38	0.0087	1.56
CPP	14.5881	-0.00683	-1.758					
Error Estándar	0.2833	0.00206	1.553					
Razón de t	51.489	-3.309	-1.129					
		PARR	PFERTR	PAGRIPR	PPL	0.74	0.0001	1.65
CPAR	16489	-1.816	-11.298	1.719	-5.811			
Error Estándar	1718.5388	1.2274	2.470	1.571	2.125			
Razón de t	9.595	-1.480	-4.574	1.094	-2.734			

Fuente: Elaboración propia con datos de la salida de SAS.

Cuadro 3. Coeficientes de la forma reducida del modelo, 1980-2004.
Table 3. Coefficients of the reduced form of the model, 1980-2004.

Variables exógenas	Variables endógenas							
	QCU	CPU	QCI	QCP	CPP	QCAR	CPAR	QCST
PAPR	-359883	-0.089	0	0	0	0	0	-359883
PEUDR	-43260724	-10.699	0	0	0	0	0	-43260724
PIBPRL	702.648	0.00017	0	0	0	0	0	702.648
TEMP	1426278	0.353	0	0	0	0	0	1426278
PAPR2L	0	0	0	-7483.04	-0.00683	0	0	-7483.04
PEUDR2L	0	0	0	-1924376	-1.758	0	0	-1924376
PARR	0	0	0	0	0	-866096	-1.816	-866096
PFERTR	0	0	0	0	0	-5388387	-11.298	-5388387
PAGRIPR	0	0	0	0	0	820147	1.719	820147
PPL	0	0	0	0	0	-2771220	-5.811	-2771220
PAPIRL	0	0	-19788	0	0	0	0	-19788
PEUIRL	0	0	-154921534	0	0	0	0	-154921534
Intercepto	203151468	50.246	49906776	15971987	14.588	7864197026	16489	7983705748

Fuente: Elaboración propia con datos de la salida de SAS.

El consumo de agua responde de manera inelástica a cambios en la tarifa de energía eléctrica, exceptuando al

Consumption is less inelastic in industry and irrigation agriculture, where changes in the price of water could

La baja elasticidad precio del consumo se debe a la inexistencia de sustitutos del recurso, y la magnitud diferente por consumidor se relaciona con el grado de utilidad del recurso en cada uno de éstos.

El consumo es más inelástico en los sectores urbano y pecuario, donde el recurso es indispensable para la vida humana y animal. En niveles de consumos bajos es difícil disminuir la demanda, dado que se ha llegado al límite para la existencia de estos consumidores. El consumo es menos inelástico en la industria y la agricultura de riego, donde cambios en el precio del agua podrían inducir al consumidor (industriales y agricultores) a adoptar cambios tecnológicos que permitieran el ahorro del recurso.

La respuesta inelástica del consumo de agua a cambios en los precios plantea que si se pretendiera bajar el consumo de agua a través del precio, se tendría que proponer un incremento considerable en este factor. Por ejemplo, para los sectores urbano y pecuario el valor de la elasticidad indica que para disminuir el consumo per cápita de agua en 1%, el precio tendría que aumentar en 67 y 266 %.

Para el sector agrícola de riego el valor de la elasticidad precio de la demanda indica que una reducción en el consumo promedio por hectárea en 1 %, podría lograrse aumentando el precio en 19 %, y una disminución en el consumo industrial de 1 % podría lograrse aumentando la tarifa en 7.93 %, manteniendo los demás factores constantes.

Además del precio del agua, otro factor que podría ser usado para incidir sobre el consumo de agua subterránea es el precio de la energía eléctrica. La elasticidad que relaciona ambas variables fue -0.036 para la energía eléctrica usada en el sector urbano, -0.018 para la usada en el sector pecuario y -1.108 para la usada en el sector industrial (Cuadro 4).

induce the consumer (industrialists and farmers) to adopt technological changes that would allow the reduction in consumption of the resource.

The inelastic response of water consumption to changes in prices indicates that if water consumption is to be lowered by means of the price, a considerable increase would have to be proposed in this factor. For example, for the urban and livestock sectors, the value of the elasticity indicates that to lower the per capita consumption of water by 1 %, the price would have to be increased by 67 and 266 %.

For the irrigation agriculture sector, the value of the price of the demand elasticity indicates that a reduction of 1 % in the average consumption per hectare, could be achieved by increasing the price by 19 %, and a reduction in the industrial consumption of 1 % could be achieved by increasing the price by 7.93 %, maintaining the other factors constant.

In addition to the price of water, another factor that could be used to influence the consumption of groundwater is the price of electric energy. The elasticity that relates both variables was -0.036 for the electric energy used in the urban sector, -0.018 for the livestock sector and -1.108 for the industrial sector (Table 4).

Water consumption responds inelastically to changes in the price of electric energy, except for the industrial sector where it was elastic. It should be pointed out that the values of the elasticity for the urban and livestock sectors are notably higher than the price of the demand elasticity. The sign of the elasticity indicates that water and electricity are complementary goods in the domestic and production processes, and that an increase in the price of electric energy can be effective for reducing consumption. For example, a reduction of 1% in water consumption of the urban,

Cuadro 4. Elasticidades relacionadas con los precios de agua y energía eléctrica, 1980-2004.

Table 4. Elasticities related to the prices of water and electric energy, 1980-2004.

Variable endógena	Precio del agua				Precio de la energía eléctrica		
	PAPR	PAPIRL	PAPR2L	PARR	PEUDR	PEUDR2L	PEUIRL
CPU	-0.01502				-0.0362		
QCI		-0.1261					-1.1078
CPP			-0.00376			-0.0179	
CPAR				-0.0522			
QCST	-0.000649	-0.00061	-0.0000145	-0.0487	-0.00156	-0.0000690	-0.0053

Fuente: Elaboración propia con información de los Cuadros 2 y 3.

sector industrial donde fue elástica. Cabe resaltar que los valores de la elasticidad para los sectores urbano y pecuario son sensiblemente mayores a la elasticidad precio de la demanda. El signo de la elasticidad indica que agua y electricidad son bienes complementarios en los procesos domésticos y de producción, y que un aumento en la tarifa de la energía eléctrica puede ser efectivo para disminuir el consumo. Por ejemplo, una reducción de 1 % en el consumo de agua en los sectores urbano, pecuario e industrial podría lograrse aumentando la tarifa de energía eléctrica en 28, 56 y 0.9 %.

La forma reducida del modelo expresa las variables endógenas en términos de las predeterminadas, que pueden funcionar como instrumentos de política, en este caso, los diferentes niveles de precio. La identidad más general del modelo es la cantidad consumida de agua subterránea (*QCST*) y la forma reducida permite ver cómo los precios afectan a ésta.

Los coeficientes de la forma reducida y los valores promedio de las variables en el período 1980-2004, se usaron para calcular las elasticidades que relacionan la cantidad consumida de agua subterránea con las tarifas y cuotas usadas para reflejar el costo del uso del agua en los diferentes sectores consumidores, la tarifa de la energía eléctrica, y otros factores que fueron estadísticamente significativos para determinar el consumo de agua en el estado.

La cantidad consumida de agua subterránea responde de manera inelástica a cambios en los precios de los diferentes consumidores, con elasticidades de -0.00065 , -0.0006 , -0.00001 y -0.049 para los sectores urbano, industrial, pecuario y agrícola de riego. La suma de las elasticidades es -0.0499 , lo cual indica que aun cuando hubiera un incremento simultáneo en el precio de todos los sectores consumidores, la demanda de agua seguiría respondiendo de manera inelástica (Cuadro 4).

El nivel de inelasticidad que el consumo presenta en el sector pecuario indica el mínimo efecto que tendría una política de precios. No obstante, un aumento en el precio del agua podría estimular paulatinamente la eficiencia de los sistemas existentes. La menor inelasticidad se presenta en la agricultura de riego, ya que para disminuir el consumo de agua subterránea en 1 %, el precio del agua en la agricultura de riego tendría que aumentar en 20.5 %.

Las condiciones de mercado de los productos finales e insumos también afectan el consumo total de

livestock and industrial sectors could be achieved by increasing the price of electric energy by 28, 56 and 0.9 %.

The reduced form of the model expresses the endogenous variables in terms of the predetermined variables, which can function as instruments of policy, in this case, the different price levels. The most general identity of the model is the amount of groundwater consumed (*QCST*) and the reduced form makes it possible to see how it affected by prices.

The coefficients of the reduced form and the average values of the variables in the period 1980-2004, were used to calculate the elasticities that relate the amount of groundwater consumed to the prices and quotas used to reflect the cost of the use of water in the different consumer sectors, the price of electric energy, and other factors that were statistically significant to determine the consumption of water in the state.

The amount of groundwater consumed responds inelastically to changes in the prices of the different consumers, with elasticities of -0.00065 , -0.0006 , -0.00001 and -0.049 for the urban, industrial, livestock and irrigation agriculture sectors. The sum of the elasticities is -0.0499 , which indicates that even when there is a simultaneous increase in the price of all of the consumer sectors, the demand of water will continue to respond inelastically (Table 4).

The level of inelasticity shown by consumption in the livestock sector indicates the minimum effect that a price policy would have. However, an increase in the price of water could gradually stimulate the efficiency of the existing systems. The lower inelasticity is presented in irrigation agriculture, given that to lower the consumption of groundwater by 1 %, the price of water in irrigation agriculture would have to increase by 20.5 %.

The market conditions of the final products and inputs also influence the total consumption of water. With elasticity-price of the agricultural products of 0.119 and of -0.294 of fertilizer, increases in the price of the former make the agricultural activity more profitable, increasing sowing and, consequently, the consumption of water. On the other hand, an increase in the price of fertilizer reduces the profitability of the agricultural activity, reducing the cultivated surface and water consumption. Little can be done with respect to the behavior of these variables, given that they depend on market conditions of the agricultural products (Table 5).

agua. Con elasticidad-precio de los productos agrícolas de 0.119 y de -0.294 del fertilizante, aumentos en el precio de los primeros hacen más rentable la actividad agropecuaria, elevando la siembra y, en consecuencia, el consumo de agua. En cambio, un aumento en el precio del fertilizante reduce la rentabilidad de la actividad agrícola, disminuyendo la superficie cultivada y el consumo de agua. Poco se puede hacer sobre el comportamiento de dichas variables, ya que dependen de las condiciones de mercado de los productos agropecuarios (Cuadro 5).

Otras variables que afectan el consumo de agua subterránea son la temperatura y la precipitación pluvial, variables estocásticas sobre las cuales no se puede influir.

CONCLUSIONES

El consumo de agua en todos los sectores del estado de Guanajuato responde de manera inelástica a cambios en las tarifas y cuotas cobradas por su uso y servicio. Los sectores con mayor inelasticidad son el urbano y el pecuario, donde los consumidores responden pobremente a cambios en el precio. Así, una política de precios en éstos no tendría éxito, sobre todo en el segundo. Los sectores donde la demanda de agua resultó menos inelástica fueron la agricultura de riego y la industria; por tanto, políticas de administración de la demanda de agua tendrán que considerar aumentos en el precio del agua usada en la industria y la cuota que pagan por el mantenimiento de la infraestructura al Distrito de Riego, más el efecto del costo de la energía eléctrica para uso agrícola.

El consumo de agua respondió de manera inelástica e inversa a cambios en la tarifa de la energía eléctrica en los sectores urbano, pecuario e industrial. Dicha relación de complementariedad indica que un aumento en las tarifas eléctricas disminuiría significativamente el consumo de agua subterránea en el estado.

La hipótesis planteada fue aceptada ya que, con base en los resultados del modelo, el consumo de agua subterránea en el estado está determinado inversamente, por las tarifas cobradas, el precio de la energía eléctrica y la precipitación pluvial, y directamente por el PIB per cápita, el precio de los productos finales en el sector agrícola y la temperatura.

LITERATURA CITADA

Amir, I., and F. M. F., Fisher. 1999. Analyzing agricultural demand for water with an optimizing model. *Agric. Systems* 61 (1): 45-56.

Cuadro 5. Elasticidades relacionadas con otros factores que afectan el consumo total de agua subterránea, 1980-2004.

Table 5. Elasticities related to other factors that affect the total consumption of groundwater, 1980-2004.

	PIBPRL	TEMP	PFERTR
QCST	0.0013	0.005	-0.294
	PAGRIPR	PPL	
QCST	0.119	-0.408	

Fuente: Elaboración propia con información de los Cuadros 2 y 3.

Other variables that affect the consumption of groundwater are temperature and rainfall, stochastic variables which can not be influenced.

CONCLUSIONS

The consumption of water in all sectors of the state of Guanajuato respond inelastically to changes in the prices and quotas charged for its use and service. The sectors with highest inelasticity are the urban and livestock sectors, where the consumers respond poorly to price changes. Thus a price policy in these sectors would not be successful, especially in the livestock sector. The sectors where the demand of water was least inelastic were irrigation agriculture and industry; therefore, administration policies of water demand would have to consider increases in the price of water used in industry and the quota paid for the maintenance of the infrastructure to the Irrigation District, plus the effect of the cost of electric energy for agricultural use.

Water consumption responded inelastically and inversely to changes in the price of electric energy in the urban, livestock and industrial sectors. This relationship of complementarity indicates that an increase in electric prices would significantly reduce the consumption of groundwater in the state.

The given hypothesis was accepted, given that based on the results of the model, the consumption of groundwater in the state is inversely determined by the prices charged, the price of electric energy and rainfall, and directly by the per capita GNP, the price of the final products obtained in the agricultural sector and temperature.

End of the English version—



- Ávila S., C. Muñoz, L. Jaramillo, y A. Martínez. 2005. Un análisis del subsidio a la tarifa 09. *Gaceta Ecol.* (075): 65-76.
- BM (Banco de México). 2007. Precios e Inflación. <http://www.banxico.org.mx/einfoFinanciera/FsinfoFinanciera-ra.htm> (Consultado en abril de 2007).
- CEAG (Comisión Estatal del Agua). 2007. Diagnóstico del Sector Agua Potable y Saneamiento del Estado de Guanajuato. <http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/indicado-res.php>. (Consultado en mayo de 2007).
- CNA (Consejo Nacional Agropecuario). 1980-1994. Compendio Estadístico del Sector Agroalimentario: Precio promedio LAB (estación de ferrocarril) de los fertilizantes y Producción nacional. México, D. F. 80 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2001. Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025. Gerencia Regional de las Cuencas Centrales.
- CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional). 2007. Temperatura media anual por estado. <http://www.cna.gob.mx>. (Consultado en febrero de 2007).
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2005. Proyecciones de población en México: 2000-2030. <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/5.htm>. (Consultado en marzo de 2007).
- CONCAMIN (Confederación de Cámaras Industriales). 2009. Estadísticas del uso de agua por los parques industriales de la zona bajío. Comisión de Agua y Ecología. http://www.concamin.org.mx/agua_ecologia.html. (Consultado en abril de 2007).
- COTAS (Consejo Técnico de Aguas). 2007. Estadísticas del Agua. Oficina regional. Celaya, Guanajuato. 13 p.
- CVIA (Centro Virtual de Información sobre el agua). 2007. Información del consumo de agua por tipo de uso. <http://www.agua.org.mx/> (Consultado en agosto de 2007).
- Dupont, D. P. and Renzetti S. 2001. The role of water in manufacturing. *Environ. and Resource Econ.* 18 (4): 411-432.
- Feres, J., and A. Reynaud. 2005. Assessing the impact of environmental regulation on industrial water use: Evidence from Brazil. *Land Econ.* 81(3): 396-411
- Fornes J. M., A. de la Hera, and M. R. Llamas. 2005. The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain. *Water Police* 5(4): 1-16.
- García, S., M. Moreaux, and A. Reynaud. 2007. Measuring economies of vertical integration in network industries: An application to the water sector. *Int. J. Industrial Org.* 25 (4): 791-820.
- Gårn H., L. 1996. Water and energy price impacts on residential water demand in Copenhagen. *Land Econ.* 72: 66-79.
- Guerrero, G. R. H. 2005. Industrial water demand in Mexico: Econometric analysis and implications for water management policy. These pour le doctorat en Sciences Economiques. Université de Toulouse. France. 205 p.
- Gujarati D., N. 2000. *Econometría*. 3rd ed. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. 811 p.
- Guzmán S. E., J. A. García S., J. S. Mora F., M. Fortis H., R. Valdivia A., y M. Portillo V. 2006. La demanda de agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia* 40: 793-804.
- Höglund, L. 1999. Household demand for water in Sweden with implications of a potential tax on water use. *Water Resources Res.* 35: 3853-3863.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2003. Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. México, D. F. 30 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática). Varios años. Sector Energético en México. 1995, 1998, 2000 y 2003. México, D. F.
- INEGI. (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática). 2007. XII Censo General de Población y Vivienda: 2000 y Conteo 2005. <http://www.inegi.gob.mx>. (Consultado en febrero de 2007).
- INEGI-BIE (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática-Banco de Información Económica). 2007a. Producto Interno Bruto: Nacional y por Entidad Federativa. <http://www.inegi.gob.mx>. (Consultado en marzo de 2007).
- INEGI-BIE (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática-Banco de Información Económica). 2007b. Sector Eléctrico: Precios Promedio de Energía Eléctrica por Sector Productivo. <http://www.inegi.gob.mx>. (Consultado en febrero de 2007).
- INEGI-BIE (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática-Banco de Información Económica). 2007c. Índice de Precios Implícitos por Gran División de Actividad Económica. <http://www.inegi.gob.mx>. (Consultado en abril de 2007).
- Jaramillo M., L. A. 2003. Modelando la demanda de agua de uso residencial en México. Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. México D. F. Marzo de 2003. 17 p.
- JUMAPA (Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado). 2007. Tarifas de agua potable por sector: 1999-2004. Información proporcionada por la Gerencia. Celaya, Guanajuato. 13 p.
- Lyman A., R. 1992. Peak and off-peak residential water demand. *Water Resources Res.* 28: 2159-2167.
- Matus G., J. A., y A. Puente. 1992. Análisis estatal de los efectos de la política económica y bases de la estrategia para la conversión de la agricultura. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Informe de Proyecto. 315 p.
- OEIEDRUS (Oficina Estatal de Información Estadística para el Desarrollo Rural Sustentable). 2008. Láminas de riego por cultivo en el Estado de Guanajuato. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. (CD-Rom).
- Parikh, A. 1982. An econometric model of the agricultural sector of the Indian economy. *J. Policy Modeling.* 4 (3): 395-411.
- Pfizer (Industria Farmacéutica). 2004. Consumo promedio diario de agua en los animales domésticos. http://www.pfizer.com/pc/poup_tabla2.htm. (Consultado en noviembre de 2007).
- Recio B., F. Rubio, J. Lomban, and J. Ibañez. 1999. An econometric irrigated crop allocation model for analyzing the impact of water restriction policies. *Agric. Water Manage.* 42 (1): 47-63.
- Renzetti, S., and D. Dupont. 2003. Ownership and performance of water utilities. *Greener Manage. Int.* 42: 9-19.
- Renzetti, S. 1999. Municipal water supply and sewage treatment: Costs, prices and distortions. *Can. J. Econ.* 32 (3): 688-704.
- Reynaud, A. 2003. An econometric estimation of industrial water demand in France. *Environ. & Resource Econ.* 25 (2): 213-232.
- SAGARPA-SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca). 1980-2004. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_com_download.html. (Consultado en septiembre de 2007).
- Saleth, R. M., y A. Dinar. 2001. Preconditions for market solution to urban water scarcity: Empirical results from Hyderabad City, India. *Water Resources Res.* 37: 119-131.

- SAPAL (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León). 2007. Consumo promedio de agua del sector industrial: 1998-2004 y Tarifas de agua potable por sector: 1998-2004. Información proporcionada por la Gerencia de Servicio al Cliente. León, Guanajuato. 17 p.
- SEMARNAT-CONAGUA (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua). 2006. Estadísticas del agua en México. México D. F. 198 p.
- Surender, K. 2006. Analysing industrial water demand in India: An input distance function approach. *Water Policy* 8: 15–29.
- Verbic, M, and R. Slabe-Erker. 2009. An econometric analysis of willingness-to-pay for sustainable development: A case study of the Volèji Potok landscape area. *Ecol. Econ.* 68 (5): 1316-1328.
- Vere, D. T., and Griffith G. R. 2004. Structural econometric modelling in Australia's livestock production and marketing systems: the potential benefits of model integration for industry analysis. *Agric. Systems.* 81 (2): 115-131.