

## Disponibilidad para ahorrar agua de uso agrícola en México: caso de los acuíferos de Calera y Chupaderos\*

### Availability for saving water for agricultural use in Mexico: the case of aquifers from Calera and Chupaderos

Alberto Vélez Rodríguez<sup>1§</sup>, Luz E. Padilla-Bernal<sup>2</sup> y Francisco Mojarro Dávila<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas-Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. <sup>2</sup>Unidad Académica de Contaduría y Administración-Universidad Autónoma de Zacatecas. (luze\_padilla@yahoo.com.mx). <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas-Unidad Académica de Ingeniería. Comercio y Admón. S/N, Col. Progreso, C. P. 98066, Zacatecas, Zacatecas. (mojarro\_fr@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: avelezrod@hotmail.com.

#### Resumen

Calera y Chupaderos son dos de los acuíferos más sobreexplotados de la zona hidrográfica Cuencas Centrales del Norte, éstos proveen agua a la parte central del estado de Zacatecas. La agricultura consume 88% del agua extraída de los acuíferos. La mayoría de los sistemas de riego son ineficientes, perdiendo un estimado de 40% a 60% del agua. La extracción sobreexplotación de los acuíferos atenta contra la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Este estudio se realizó para determinar la disposición a aceptar (DAA) ahorrar agua de los productores, usuarios de los acuíferos de Calera y Chupaderos, a cambio de un apoyo gubernamental, monetario o tecnológico. Se utilizó el método de valoración contingente, obteniéndose la información mediante una encuesta aplicada a una muestra representativa de productores. Los datos fueron procesados con un modelo probit de intervalos múltiples aplicando la técnica de máxima verosimilitud. Los productores manifestaron alta disposición a ahorrar agua de riego a cambio de nueva tecnología. Este cambio haría posible disminuir el consumo de agua en riego agrícola sin afectar el nivel de productividad, con posibilidad de reducir costos de bombeo. La DAA ahorrar agua promedio por hectárea resultó de 21.2% y 22.4%, para los acuíferos de Calera y Chupaderos, de los 6 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> concesionados. Esto

#### Abstract

Calera and Chupaderos are two of the most overused aquifers from the drainage area of the North Central Basin; these provide water to the central part of the state of Zacatecas. Agriculture consumes 88% of the water withdrawn from aquifers. Most irrigation systems are inefficient, wasting around 40% to 60% of water. Overexploitation of aquifers threatens against the ability of future generations to meet their own needs. This study was conducted to determine the willingness to accept (WTA) save water from producers, users from aquifers of Calera and Chupaderos, in exchange for a governmental, monetary or technological support. The contingent valuation method was used, obtaining information through a survey applied to a representative sample of producers. The data was processed using a probit model of multiple intervals applying the maximum likelihood estimation. Producers expressed high willingness to save farm water in exchange for new technology. This change would make possible to reduce the consumption of water in farm water without affecting the level of productivity, with the possibility of reducing pumping costs. The DAA save water per hectare was 21.2% and 22.4% for aquifers from Calera and Chupaderos, of the 6 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> concession. This represents a saving of 1 272 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and 1 344 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of water per aquifer, same

\* Recibido: julio de 2014  
Aceptado: diciembre de 2014

representa un ahorro de  $1\,272\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$  y  $1\,344\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$  de agua por acuífero, mismo que coadyuvaría a cumplir las metas gubernamentales referentes a reducir la extracción de agua para la sustentabilidad de los acuíferos en el largo plazo.

**Palabras clave:** acuífero, sistemas de riego, valoración contingente.

## Introducción

La escasez de agua se ha convertido en la mayor amenaza para la seguridad alimentaria, la salud humana y los ecosistemas naturales, especialmente en las regiones más áridas del mundo. Reflejo de esta escasez es el agotamiento del agua subterránea de estas regiones situación que se ha convertido en uno de los problemas más graves de la administración de los recursos hídricos. Muchos de los países más poblados del mundo como China, India, Pakistán y México, así como casi todos los países del Medio Oriente y del Norte de África desde hace dos o tres décadas sufren del agotamiento de sus acuíferos (Seckler *et al.*, 1999). La Organización Mundial de la Salud (2009) indica que este problema se agrava conforme la población y las ciudades crecen, aumentando el gasto de agua en la agricultura, la industria y los hogares.

En el caso de México, 63% del agua utilizada para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, lagos, presas), mientras que 37% es agua subterránea. La preservación de las aguas subterráneas es una situación delicada a partir de la década de los setentas, ya que el número de acuíferos en donde la extracción de agua es superior a la recarga se ha incrementado. En la actualidad 100 de los 653 acuíferos que existen en el país se encuentran sobreexplotados (CNA, 2011a; 2011b).

Calera y Chupaderos son dos de los acuíferos más sobreexplotados de la zona hidrográfica administrativa Cuencas Centrales del Norte. La región de los acuíferos de Calera y Chupaderos provee agua a la parte central del estado de Zacatecas, donde el clima es semiseco con una precipitación pluvial promedio anual de 450 mm (CNA, 2009), inferior a la media estatal y nacional, lo que refleja escasez natural de agua. En esta región el agua subterránea representa 95% del agua disponible, convirtiéndose en la principal fuente de agua para el desarrollo de las diferentes actividades de la población. En el área se concentran 692 mil habitantes, 47% de la población estatal y se alberga 45%

that would help to meet government goals related to reduce water withdrawals for the sustainability of aquifers in the long term.

**Keywords:** aquifer, contingent valuation, irrigation systems.

## Introduction

Water scarcity has become a major threat to food security, human health and natural ecosystems, especially in the more arid regions of the world. Reflect of this shortage is the depletion of groundwater of these regions, situation that has become one of the most serious problems of water resource management. Many of the world's most populated countries like China, India, Pakistan and Mexico, as well as almost every country in the Middle East and North Africa from two or three decades suffer from the depletion of aquifers (Seckler *et al.*, 1999). The World Health Organization (2009) indicates that this problem is exacerbated as the population and cities grow, increasing water consumption in agriculture, industry and households.

In the case of Mexico, 63% of water used for consumptive use comes from surface sources (rivers, lakes, dams), while 37% is groundwater. The preservation of groundwater is a delicate situation from late seventies, since the number of aquifers where water extraction exceeds recharge has increased. Currently 100 of the 653 aquifers in the country are overexploited (CNA, 2011a; 2011b).

Calera and Chupaderos are two of the most overexploited aquifers from the drainage area of the North Central Basin. The region's aquifers of Calera and Chupaderos provide water to the central part of the state of Zacatecas, where the climate is dry with an average annual rainfall of 450 mm (CNA, 2009), lower than state and national average, which reflects natural scarcity of water. In this region, groundwater represents 95% of available water, becoming the main source of water for the development of various activities of the population. In the area 692 000 inhabitants are concentrated, having 47% of the state population and 45% of the manufacturing industry in the state (INEGI, 2011a), implicating high demand of water for urban supply and industrial use.

In the region, agriculture is a major economic activity and contributes 11% of the state GDP (INEGI, 2011b). Irrigated agriculture occupies 20% of the cultivable area

de la industria manufacturera del estado (INEGI, 2011a), implicando alta demanda de agua para abastecimiento urbano y de uso industrial.

En la región la agricultura es una de las principales actividades económicas y contribuye con 11% al PIB estatal (INEGI, 2011b). La agricultura de riego ocupa el 20% de la superficie cultivable y consume 88% del agua extraída de los acuíferos (Hernández *et al.*, 2012), se extrae en promedio por año para esta actividad 123 Mm<sup>3</sup> del acuífero de Calera y 180 Mm<sup>3</sup> de Chupaderos. El déficit reportado para los acuíferos en el año 2009 es de 67.7 Mm<sup>3</sup> y 112 Mm<sup>3</sup> respectivamente (CNA, 2009). Para el riego agrícola de la zona se usan 2 692 pozos, con altos consumos por excesivo uso de agua en el riego y falta de tecnología. De acuerdo a Mojarro *et al.* (2010) la mayor parte de la superficie de riego utiliza métodos tradicionales poco eficientes, estimando la Comisión Nacional del Agua (CNA) pérdidas de agua entre 40% y 60% (CNA, 2007).

La sobreexplotación de los acuíferos provoca daños ambientales, tales como agotamiento de manantiales, intrusión de agua salada, merma del gasto base de ríos y hundimientos (Koundouri, 2004; Wada *et al.*, 2010), incrementos en los costos de bombeo y una disminución en la calidad del agua (Echavarría *et al.*, 2009; Padilla *et al.*, 2012). De persistir la sobreexplotación de los acuíferos se pone en riesgo su vida útil y con ello la continuidad de los procesos productivos de la región, razón por la cual la agricultura está obligada a transformarse en una actividad social, económica y ambientalmente sustentable (Hernández *et al.*, 2012; Garbrecht *et al.*, 2013). Una alternativa es orientar la gestión de los recursos hídricos hacia una integración, bajo políticas de optimización, considerando el argumento de los recursos naturales como bienes públicos y sin mercado (Young, 2005; Booker *et al.*, 2012). Esto implica valorar económicamente el agua de los acuíferos para coadyuvar al diseño de políticas de gestión del recurso hídrico, dado que el agua es una condición necesaria para el desarrollo y sostenimiento de la economía y de la estructura social.

El objetivo de este trabajo es estimar el valor del agua para uso agrícola por parte de los productores localizados en la región de los acuíferos de Calera y Chupaderos, así como identificar los factores que influyen en su disposición a aceptar (DAA) ahorrar agua a cambio de un apoyo gubernamental. La determinación del valor del agua permitirá a las autoridades gubernamentales contar con información para diseñar propuestas que coadyuven a disminuir el consumo del agua en la agricultura, facilitando a los productores el acceso a sistemas de riego más eficientes.

and consumes 88% of the water extracted from aquifers (Hernández *et al.*, 2012), on average per year for this activity 123 Mm<sup>3</sup> are extracted from the aquifer of Calera and from Chupaderos 180 Mm<sup>3</sup>. The deficit reported for the aquifer in 2009 is 67.7 Mm<sup>3</sup> and 112 Mm<sup>3</sup> respectively (CNA, 2009). For agricultural irrigation in the area, 2 692 wells are used, with high intakes for overuse of farm water and lack of technology. According to Mojarro *et al.* (2010) most of the irrigated area uses traditional methods that are inefficient, National Water Commission (CNA) estimates water losses of 40% to 60% (CNA, 2007).

The overexploitation of aquifers causes environmental damage such as depletion of springs, saltwater intrusion, reduction of expenditure in base rivers and subsidence (Koundouri, 2004; Wada *et al.*, 2010), increase in pumping costs and reduction in water quality (Echevarría *et al.*, 2009; Padilla *et al.*, 2012). Persisting overexploitation of aquifers threatens its service life and thus the continuity of production processes in the region, reason why agriculture is forced to transform into a social, economic and environmentally sustainable activity (Hernández *et al.*, 2012; Garbrecht *et al.*, 2013). An alternative is to guide the management of water resources towards integration under optimization policies, considering the argument of natural resources as public goods and nonmarket (Young, 2005; Booker *et al.*, 2012). This means financially valuing water from aquifers to assist in the design of policies for water management, since water is a prerequisite for the development and sustainability of economy and social structure.

The objective of this work is to estimate the value of water for agricultural use of producers located in the region of aquifers from Calera and Chupaderos and to identify the factors that influence their willingness to accept (WTA) save water in exchange of government support. Determining the value of water will allow government authorities to have information to design proposals that help to reduce water consumption in agriculture, providing producers access to more efficient irrigation systems. Similarly, the results of this study provide useful tools to those who design public policies in Mexico related to the allocation of water resources and the redefinition of tariffs for electricity consumption for farm water. Based on the above the research hypothesis is: the variables related to knowledge of the producers on overexploitation of aquifers and the level of household income are determinants in WTA save water in exchange for government support.

De igual forma, los resultados de este estudio proveerán de herramientas útiles a quienes diseñan las políticas públicas en México relacionadas a la asignación de recursos hídricos y a la redefinición de tarifas para el consumo de energía eléctrica para el riego agrícola. Con base en lo expuesto la hipótesis de investigación es la siguiente: las variables relacionadas al conocimiento de los productores sobre la sobreexplotación de los acuíferos y el nivel de ingresos familiar son factores determinantes en la DAA ahorrar agua a cambio de un apoyo gubernamental.

Para cumplir con el objetivo se aplicó del método de valoración contingente (MVC) (Young, 2005). Estudios previos que estiman la DAA de los productores, lo han hecho combinando datos de valuación contingente discretos y de preguntas abiertas y métodos no paramétricos (Carpio *et al.*, 2011). En el presente trabajo se aplicó un formato de tarjeta de pago considerando intervalos, lo cual Alberini (1995) demostró que es con frecuencia superior a un modelo bivariado de pregunta dicotómica con seguimiento, en términos del error medio al cuadrado de los estimadores.

En México no hay estudios previos que muestren la DAA ahorrar agua para uso agrícola. Este trabajo viene a llenar un vacío de información sobre el manejo del problema de sobreexplotación de los acuíferos bajo la modalidad de ahorro de agua, en donde los productores usuarios de los acuíferos de Calera y Chupaderos expresaron su disponibilidad a optimizar el uso del agua y aceptación de apoyos que estimulen el ahorro.

De acuerdo a Wei *et al.* (2004) la valuación económica del agua subterránea puede ser vista bajo dos modalidades básicas: su valor extractivo y valor *in situ*. Los valores extractivos del agua subterránea pueden ser derivados usando un método residual de presupuesto de la unidad de producción o por la estimación de funciones de producción, entre otras muchas técnicas (Acharya y Barbier, 2000; Rubiños-Panta *et al.*, 2007; Medellín-Azuara *et al.*, 2009). El valor *in situ* del agua subterránea incluye el valor de adquirir acciones, amortiguamiento, evitar la intrusión de agua de mar, evitar hundimientos, atributos ecológicos, valor de existencia. En otras palabras, la disposición a pagar (DAP) o disposición a aceptar (DAA) una cierta suma hoy por el uso futuro del agua subterránea.

A través de la evaluación *in situ* es posible hacer la estimación directa de la disposición a pagar o de la disposición a aceptar, determinando la demanda (DAP) (Koundouri, 2004; Booker

To meet the objective, the contingent valuation method (CVM) was applied (Young, 2005). Previous studies that estimate WTA of the producers have done it by combining data from discrete contingent valuation and open questions and nonparametric methods (Carpio *et al.*, 2011). In this work, a payment card format considering intervals was applied, which Alberini (1995) showed that it is often superior to a bivariate model of dichotomous question with follow-up, in terms of the mean squared error of the estimators.

In Mexico there are no previous studies that show WTA save water for agricultural use. This paper comes from filling a space of information on management of the problem of overexploitation of aquifers under water saving mode, where the producers using the aquifers of Calera and Chupaderos expressed their willingness to optimize water usage and acceptance of supports that encourage saving.

According to Wei *et al.* (2004) the economic valuation of groundwater can be viewed in two basic ways: their extractive value and *in situ* value. The extractive values of groundwater can be derived using a residual method from budget production unit or by estimating functions of production, among other techniques (Acharya and Barbier, 2000; Rubiños-Panta *et al.*, 2007; Medellín-Azuara *et al.*, 2009). The *in situ* groundwater value includes the value of acquiring shares, damping, prevent the intrusion of sea water, avoid subsidence, ecological attributes, and existence value; in other words willingness to pay (WTP) or willingness to accept (WTA) a certain sum today for the future use of groundwater.

Through *in situ* evaluation is possible to make a direct estimate of willingness to pay or willingness to accept, determining the demand (WTP) (Koundouri, 2004; Booker *et al.*, 2012) or the supply (WTA) for groundwater (Wei *et al.*, 2007). Studies of the demand or supply (WTP or WTA) for groundwater are part of a strategy to manage this resource, because they provide information on the effects of the control variables in the use of groundwater.

Therefore to obtain WTA, the contingent valuation method (CVM) is proposed; which consist in direct interview to determine the stated preferences of individuals about a hypothetical change in a future situation (Mitchell and Carson, 1989). The latter has been considered as one of its biggest drawbacks, when not laid out properly (Wei *et al.*, 2004). Another disadvantage is the bias in the interview and survey design (Mendieta, 2005).

*et al.*, 2012) o la oferta (DAA) por agua subterránea (Wei *et al.*, 2007). Los estudios de la demanda u oferta (DAP o DAA) por agua subterránea son parte de una estrategia para la administración de este recurso, debido a que proveen información sobre los efectos de las variables control en el uso de agua subterránea.

Por esta razón para obtener la DAA se propone el método de valoración contingente (MVC); el cual consiste en entrevista directa para determinar las preferencias declaradas de los individuos sobre algún cambio hipotético en una situación futura (Mitchel y Carson, 1989). Esto último ha sido considerado como una de sus más grandes desventajas, cuando no es planteado adecuadamente (Wei *et al.*, 2004). Otra desventaja es el sesgo en la entrevista y el diseño del cuestionario (Mendieta, 2005).

El MVC ha sido usado entre otros aspectos, para la evaluación de la calidad del agua (Choe, Whittington y Lauria, 1996; Fujita *et al.*, 2005; Chatterjee, 2008), en el diseño de estrategias para el suministro (Griffin y Mjelde, 2000), en la DAP por el agua en consumo urbano (Thomas y Syme, 1988) y en el diseño de mecanismos económicos tendientes a aliviar la escasez de agua de riego agrícola (Garrido *et al.*, 1996). En lo que se refiere al agua subterránea, Wei *et al.* (2007) aplicaron el MVC para medir in situ su valor en la llanura norte de China. Ellos encontraron que debido a los muy bajos niveles de ingreso y educación de la población, el MVC no provee una estimación adecuada del valor in situ del agua subterránea en la región estudiada. Por su parte Carpio *et al.* (2011) usando datos de la DAA construyeron una curva de oferta de agua agregada de los agricultores ubicados en el acuífero Mafraq-Azraq de Jordania. Ellos estimaron el costo de comprar los derechos de uso de agua de los agricultores e identificaron los factores que influyen en su disposición a vender el agua. Se examinó la factibilidad económica de transferir agua del sector agrícola a los sectores doméstico e industrial.

## Materiales y métodos

A fin de obtener la información para hacer la evaluación in situ del agua subterránea de la región de los acuíferos estudiados y determinar la DAA de los productores por ahorrar agua en el riego se hicieron entrevistas a los usuarios de los pozos de los acuíferos de Calera y Chupaderos, para lo que se diseñó un cuestionario. La selección de los encuestados se determinó a través de muestreo aleatorio

The CVM has been used among other aspects to assess water quality (Choe, Whittington and Lauria, 1996; Fujita *et al.*, 2005; Chatterjee, 2008) in the design of strategies for supply (Griffin and Mjelde, 2000), the WTP for water in urban consumption (Thomas and Syme, 1988) and design of economic mechanisms to alleviating the shortage of farm water (Garrido *et al.*, 1996). Regarding to groundwater, Wei *et al.* (2007) applied CVM to measure in situ its value in the North China Plain. They found that due to the very low levels of income and education of the population, CVM does not provide an adequate estimate of the value in situ of groundwater in the study region. Meanwhile Carpio *et al.* (2011) using data from WTA built a supply curve of water added from farmers located in the Mafraq-Azraq aquifer in Jordan. They estimated the cost of buying the rights to use water from farmers and identified the factors that influence their willingness to sell water. Economic feasibility of transferring water from agriculture to the domestic and industrial sectors was examined.

## Materials and methods

In order to obtain the information to perform the in situ assessment of groundwater of the aquifers region studied and to determine WTA of producers to save water in irrigation; interviews were made to users of wells from the aquifers of Calera and Chupaderos, for which a survey was designed. The selection of respondents was determined through a random sampling of the concession wells registered in the Public Registry of Water Rights (REPDA) in 2009 (CNA, 2011c), with a confidence level of 95%, an error of 5% and a coefficient of variation of 25%. The minimum samples required per aquifer were 89 in Calera and 90 in Chupaderos.

The survey was divided into four sections: a) technological level of the production unit; b) awareness or knowledge level of the producer regarding to overexploitation of aquifers; c) willingness to accept save groundwater in exchange for government support, either in money or technology; and d) sociodemographic characteristics of the producer. In February 2010, a pilot test was conducted, ambiguous and unclear questions for producers were corrected and eliminated those that did not provide additional information, and final interviews were conducted during the months of March and April of the reference year. To avoid errors in the application of the survey, the interviewers were previously trained.

simple de los pozos concesionados registrados en el padrón del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) en 2009 (CNA, 2011c), con un nivel de confianza de 95%, un error de 5% y un coeficiente de variación de 25%. Las muestras mínimas necesarias por acuífero fueron de 89 en el de Calera y 90 en el de Chupaderos.

El cuestionario se dividió en cuatro secciones: a) nivel tecnológico de la unidad de producción; b) percepción o nivel de conocimiento del productor en cuanto a la sobreexplotación de los acuíferos; c) disposición a aceptar ahorrar agua subterránea a cambio de un apoyo gubernamental, ya sea en dinero o en tecnología; y d) características sociodemográficas del productor. En el mes de febrero de 2010 se realizó una prueba piloto, se corrigieron las preguntas ambiguas y no claras para los productores y se eliminaron las que no aportaban información adicional, las entrevistas definitivas se hicieron durante los meses de marzo y abril del año de referencia. Para evitar errores en la aplicación de los cuestionarios, los entrevistadores fueron previamente capacitados.

Al inicio de la entrevista, se les comentó brevemente a los entrevistados sobre la problemática de sobreexplotación que presentan los acuíferos, lo que motiva hipotéticamente una campaña de ahorro de agua subterránea en la agricultura a cambio de un apoyo gubernamental para un período de 6 años, durante los que se estima podría generar una recuperación de los acuíferos de 30% (Garbrecht *et al.*, 2013), incluyendo ésta y otras acciones para el ahorro del agua. El objetivo de la campaña es recuperar y consolidar el equilibrio hidrológico del acuífero promoviendo el uso eficiente del agua en la agricultura.

En el caso de que el productor deseara participar en la campaña de ahorro de agua se le explicó que se instalaría un medidor electrónico en los pozos para determinar su gasto de agua y poder cuantificar su ahorro en metros cúbicos. El medio de pago del apoyo económico sería a través de un bono y quienes desearan recibir el apoyo en tecnología de riego, los trámites de adquisición de equipo de riego e instalación se harían en la Comisión Nacional del Agua (CNA), en ambos casos el trámite se hará después del primer ciclo agrícola en que se hubiese firmado un convenio de participación.

Como se mencionó para conocer la DAA ahorrar agua en la agricultura se usó el formato de tarjeta de pago considerando intervalos, lo cual facilitó la respuesta de los productores (Wei *et al.*, 2007). Al plantear los intervalos en la entrevista se le aclaró al productor que sin afectar su capacidad productiva seleccionara la propuesta de pago y ahorro que considerara

At the beginning of the interview, the respondents were briefly told about the problems of overexploitation that aquifers present, which hypothetically motivates a saving campaign of groundwater in agriculture, in exchange for government support for a period of 6 years, during which, it is estimated that could generate an aquifer recovery of 30% (Garbrecht *et al.*, 2013), including this and other actions to save water. The aim of the campaign is to restore and consolidate the aquifer water balance by promoting water efficiency in agriculture.

In the event that the producer wished to participate in the campaign to save water, it was explained that an electronic meter would be installed in wells to determine water usage and to quantify their savings in cubic meters. The average payment of financial support would be through a bond and those wishing to receive support in irrigation technology, procurement procedures of irrigation equipment and installation would be done in the National Water Commission (CNA), in both cases the processing will be done after the first growing season in which was signed a participation agreement.

As mentioned to know WTA save water in agriculture, a payment card format considering intervals was used, which facilitated the response of producers (Wei *et al.*, 2007). By laying out the intervals in the interview was cleared to the producer that without affecting its production capacity will select the payment proposal and deemed savings that would suit to their interests and possibilities. Intervals showed percentage ranges and Mexican pesos that suppose it could achieve water savings or the payment to accept. The percentages are determined based on total water concession ( $6\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$ ).

The value in Mexican peso represents the payment that they would receive per cubic meter according to save percentage. The difference between intervals was \$1.00; this value corresponds to the reported cost without subsidies to pump one cubic meter of water (Garbrecht *et al.*, 2013). The intervals in percentages were: 0%; from 1 to 10%; from 11 to 20%; from 21 to 30%; from 31 to 40%; and in peso: \$0.00; from \$0.10 to \$1; from \$1.10 to \$2; from \$2.10 to \$3; from \$3.10 to 4. Producers that expressed not to save water were included with zero support since not wishing to participate in the water conservation program there would not be payment.

With the data obtained via the interview was determined how the sociodemographic characteristics of producers, level of knowledge about overexploitation of the aquifer

se adaptaría a sus intereses o posibilidades. Los intervalos mostraron los rangos en porcentaje y en pesos mexicanos que supone podría alcanzar el ahorro de agua o el pago a aceptar. Los porcentajes se determinaron en función del total de agua concesionada ( $6\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ).

El valor en pesos mexicanos representa el pago que recibirían por metro cúbico según su porcentaje de ahorro. La diferencia entre intervalos fue de \$1.00, este valor corresponde al costo reportado sin subsidios de bombear un metro cúbico de agua (Garbrecht *et al.*, 2013). Los intervalos en porcentajes fueron: 0%; de 1 a 10%; de 11 a 20%; de 21 a 30%; de 31 a 40%; y en pesos: \$0.00; de \$0.10 a \$1.00; de \$1.10 a \$2.00; de \$2.10 a \$3.00; de \$3.10 a 4.00. Los productores que expresaron no ahorrar agua se incluyeron con cero apoyo ya que al no desear participar en el programa de ahorro de agua no habría pago.

Con los datos obtenidos a través de la entrevista se determinó cómo las características sociodemográficas de los productores, el nivel de conocimiento sobre la sobreexplotación del acuífero y las características técnicas de las unidades de producción influyen en la DAA un apoyo gubernamental por ahorrar agua de uso agrícola. La información se procesó a través de un modelo probit de intervalos múltiples, aplicando la técnica de máxima verosimilitud Cameron y Huppert, 1989; Padilla-Bernal y Perez-Veyna (2008).

En este tipo de modelos se supone que la valoración o la disposición a aceptar (DAA) una compensación o a pagar (DAP) se encuentra dentro de un intervalo determinado por un límite inferior y otro superior,  $t_{li}$  y  $t_{ui}$  dentro de la tarjeta de pago y que el valor esperado de la DAA,  $E(DAA_i/x_i)$ , está en función de las variables explicativas y sus correspondientes parámetros,  $g(x_i, \beta)$ , para lo cual considerar linealidad en los parámetros es computacionalmente conveniente. Al igual que Padilla-Bernal y Pérez-Veyna (2008), se consideró que la DAA no se restringe a tener valores positivos por ofrecer a los entrevistados la opción de cero apoyo gubernamental. En el caso más simple se tiene:

$$DAA_i = x'_i \beta + \varepsilon_i \quad 1)$$

Donde  $x'_i$ , es el vector de variables explicativas o independientes que potencialmente afectan la DAA o la valoración económica del agua subterránea de uso agrícola, donde se incluyeron las características sociodemográficas de los productores entrevistados, el nivel de percepción o conocimientos del productor sobre la sobreexplotación del acuífero y las características técnicas de las unidades de

and the technical characteristics of the production units that influence in WTA for a government support to save farm water. The information is processed through a probit model of multiple intervals applying the maximum likelihood (Cameron and Huppert, 1989; Padilla-Bernal and Pérez-Veyna, 2008).

In this type of model is assumed that valuation or willingness to accept (WTA) a compensation or to pay (WTP) is within a certain range for a lower and an upper limit,  $t_{li}$  and  $t_{ui}$  within the payment card and the expected value of WTA,  $E(WTA_i/x_i)$ , is in function of the explanatory variables and their corresponding parameters,  $g(x_i, \beta)$  for which to consider linearity in the parameters is computationally convenient. Like Padilla-Bernal and Pérez-Veyna (2008) considered that WTA is not restricted to have positive values by offering to the respondents the option of zero government support. In the simplest case:

$$WTA_i = x'_i \beta + \varepsilon_i \quad 1)$$

Where  $x'_i$  is the vector of explanatory or independent variables that potentially affect WTA or economic valuation of groundwater for agricultural use, where the sociodemographic characteristics of interviewed producers were included, the level of awareness or knowledge of the producer on overexploitation of the aquifer and the technical characteristics of the production units.  $\beta$  is the vector of coefficients;  $\varepsilon_i$  is the error term, assumed normally distributed with mean zero and standard deviation  $\delta$ .

Each pair of the limits of the ranges of WTA is standardized, expressing the probability that the true valuation is within these limits we have:

$$\Pr(DAA \subseteq (t_{li}, t_{ui})) = \Pr((t_{li} - X'_i \beta)/\sigma < z_i < (t_{ui} - X'_i \beta)/\sigma) \quad 2)$$

Where  $z_i$  is the standard normal random variable. The probability presented in the above equation is rewritten as  $\Phi(z_{ui}) - \Phi(z_{li})$ , i.e. as the difference between two cumulative distribution functions,  $\Phi$ , where  $z_{ui}$  and  $z_{li}$  represent the lower and upper limit, respectively. The joint probability function for  $n$  independent observations can be interpreted as a function of maximum likelihood defined on unknown parameters  $\beta$  and  $\delta$ , implicit in  $z_{li}$  and  $z_{ui}$ . The log likelihood function is expressed as follows and estimated with LIMDEP software, using the procedure of grouped data (Greene, 2002):

producción.  $\beta$  es el vector de coeficientes;  $\varepsilon_i$  es el término de error, se supone normalmente distribuido con media cero y desviación estándar  $\delta$ .

Cada par de los límites de los intervalos de la DAA se estandariza, expresando la probabilidad de que la verdadera valuación se encuentre dentro de estos límites se tiene:

$$\Pr(DAA \subseteq (t_{li}, t_{ui})) = \Pr((t_{li} - X'_{li} \beta) / \sigma < z_i < (t_{ui} - X'_{ui} \beta) / \sigma) \quad 2)$$

Donde  $z_i$  es la variable aleatoria normal estándar. La probabilidad presentada en la ecuación anterior, se reescribe como  $\Phi(z_{ui}) - \Phi(z_{li})$ , o sea como la diferencia entre dos funciones de distribución normal estándar acumuladas,  $\Phi$ , donde  $z_{li}$  y  $z_{ui}$  representan el límite inferior y el límite superior respectivamente. La función de probabilidad conjunta para  $n$  observaciones independientes puede ser interpretada como una función de máxima verosimilitud definida en los parámetros desconocidos  $\beta$  y  $\delta$ , implícitos en  $z_{li}$  y  $z_{ui}$ . La función log de verosimilitud se expresa de la siguiente forma y se estimó con el software LIMDEP, usando el procedimiento de datos agrupados (Greene, 2002):

$$\text{Log } L = \sum_{i=1}^n \log[\Phi(z_{ui}) - \Phi(z_{li})] \quad 3)$$

Para determinar las variables que influyen en la DAA ahorrar agua, se hicieron diferentes estimaciones para cada acuífero en forma independiente. Después de hacer diferentes especificaciones, la ecuación final usada para determinar la DAA de los dos acuíferos fue la que se presenta en la ecuación 4. La definición de las variables se presenta en los Cuadros 1, 2 y 3.

$$DAA_i = \beta_0 + \beta_1 \text{sisriego}_i + \beta_2 \text{asociaci}_i + \beta_3 \text{hortaliz}_i + \beta_4 \text{quimind}_i + \beta_5 \text{sexpltdo}_i + \beta_6 \text{sbmeamb}_i + \beta_7 \text{fuente}_i + \beta_8 \text{familia}_i + \beta_9 \text{dpend}_i + \beta_{10} \text{ingreso}_i + \beta_{11} \text{edad} + \varepsilon_i \quad 4)$$

Con los valores medios de las variables explicativas y los coeficientes correspondientes se estimó la media de la DAA de los productores de cada acuífero. De acuerdo a Camerón (1991) se calculó para cada ecuación el intervalo de confianza para la media de la DAA.

## Resultados y discusión

En lo que se refiere a las características sociodemográficas de la muestra de productores, se encontró que la edad media es de 54 años y su nivel de escolaridad es de secundaria,

$$\text{Log } L = \sum_{i=1}^n \log[\Phi(z_{ui}) - \Phi(z_{li})] \quad 3)$$

To determine the variables that influence WTA save water, different estimates for each aquifer were made independently. After making different specifications, the final equation used to determine WTA of the two aquifers is presented in equation 4. The definitions of variables are presented in Tables 1, 2 and 3.

$$WTA_i = \beta_0 + \beta_1 \text{sisriego}_i + \beta_2 \text{asociaci}_i + \beta_3 \text{hortaliz}_i + \beta_4 \text{quimind}_i + \beta_5 \text{sexpltdo}_i + \beta_6 \text{sbmeamb}_i + \beta_7 \text{fuente}_i + \beta_8 \text{familia}_i + \beta_9 \text{dpend}_i + \beta_{10} \text{ingreso}_i + \beta_{11} \text{edad} + \varepsilon_i \quad 4)$$

With the average values of the explanatory variables and the corresponding coefficients was estimated the average of WTA of producers for each aquifer. According to Cameron (1991) was calculated for each equation, the confidence interval for the mean of WTA.

## Results and discussion

Regarding to the sociodemographic characteristics of the sample of producers, it was found that the average age is 54 years old and their level of education is junior high, similar to average education in the state of Zacatecas (INEGI, 2011a). In terms of their level of income, the producers from Calera receive on average 7 000 Mexican pesos per month, while producers from Chupaderos receive 4 000. 80% of the producers from both aquifers complement their household income with support from other members of the family. For 50% and 60% of the producers from Calera and Chupaderos, agriculture is not the only source of income. In Mexico on average 55% of total income of rural households are from not farming activities. The main sources of non-farm income are non-farming employment, remittances and other income where government transfer programs predominate (De Janvry and Sadoulet, 2004; SAGARPA, 2006).

Regarding the level of knowledge on overexploitation of aquifers from Calera and Chupaderos, producers on average recognized with a value of 2.8 and 3.7, equivalent to a level of "regular" and "a lot" knowledge, that extraction of water from aquifer is higher than its recharge (Table 1). The producers of both aquifers denoted on averaged to know "a lot" that overexploitation of the aquifer increases pumping costs; similarly, in Chupaderos, producers expressed on average to have "a lot" of knowledge that the



situación similar a la escolaridad media del estado de Zacatecas (INEGI, 2011a). En cuanto a su nivel de ingresos, los de Calera reciben en promedio 7 000 pesos mexicanos al mes, mientras que los de Chupaderos reciben 4 000. El 80% de los productores de ambos acuíferos complementa su ingreso familiar con apoyo de otros miembros de la familia. Para 50% y 60% el de los productores de Calera y Chupaderos la agricultura no es la única fuente de ingresos. En México, en promedio, 55% del ingreso total de los hogares rurales son por actividades no agrícolas. Las principales fuentes de ingresos no agrícolas son el empleo no agrícola, las remesas y otros ingresos, donde predominan las transferencias de programas gubernamentales (De Janvry y Sadoulet, 2004; SAGARPA, 2006).

Respecto del nivel de conocimientos de la sobreexplotación de los acuíferos de Calera y Chupaderos, los productores en promedio reconocieron con un valor de 2.8 y 3.7, equivalente a un nivel de conocimiento “regular” y “mucho”, que la extracción del agua de los acuíferos es mayor a su recarga (Cuadro 1). Los productores de ambos acuíferos denotaron en promedio conocer “mucho” que la sobreexplotación del acuífero aumenta los costos del bombeo. De igual forma, en Chupaderos manifestaron en promedio tener “mucho” conocimiento de que los químicos industriales y los usados en la agricultura causan contaminación para los acuíferos. Mientras que los de Calera mostraron estar medianamente informados sobre estos puntos.

De las variables referentes a las unidades de producción se encontró que 70% y 73% de los productores entrevistados cuentan con sistemas de riego poco eficientes, esto es, por gravedad o rodado. Más de 60% usan el pozo en asociación, lo que sugiere que la mayor parte de los productores de la región obtienen concesiones colectivas para el uso del agua subterránea. El 68% de los productores de Calera y 79% de los de Chupaderos siembran hortalizas. La región de estos acuíferos se caracteriza por que 46% de los productores cultivan chile, 33% maíz y frijol, 15% ajo, cebolla, tomate, zanahoria o frutales y 7% forrajes (Mojarro *et al.*, 2010).

El 90% de los productores agrícolas de Calera y 86% de Chupaderos manifestaron su disposición a participar en una campaña de ahorro de agua a cambio de un apoyo gubernamental. De ellos 88% y 91% respectivamente, prefieren un apoyo gubernamental en tecnología y 12% y 9% la prefieren en apoyo monetario. Los porcentajes de respuestas en cada uno de los intervalos muestran una relación directa con la DAA, lo que se comporta de

industrial chemicals and the use of them in agriculture cause groundwater contamination. While producers from Calera shown to be moderately well informed on these points.

**Cuadro 1. Variables de percepción o conocimiento de sobreexplotación de los acuíferos<sup>a</sup>.**  
**Table 1. Variables of perception or knowledge of overexploitation of aquifers<sup>a</sup>.**

Variable	Calera		Chupaderos	
	Media	Desv.St. <sup>b</sup>	Media	Desv.St. <sup>b</sup>
Sexpltdo= sobreexplotación de los acuíferos	2.8	1	3.7	1.1
Poblacui= población influye en sobreexplotación	2.5	1.1	3.5	1.1
Masagua= agricultura actividad que más agua consume	2.7	1.1	2.9	1.3
Sbmeamb= afectación al medio ambiente	2.3	1.1	3.6	1.1
Sbcostos= afectación a los costos de bombeo	4.1	1	3.8	1.1
Quimagri= contaminación de acuíferos por agroquímicos	2.5	1	3.7	1.1
Quimind= contaminación por químicos industriales	3.3	1.2	4.2	1

<sup>a</sup>Escala ordinal del 1-5, donde 1 muy poco, 2 poco, 3 regular, 4 mucho y 5 demasiado.  
<sup>b</sup>DS= Desviación estándar.

Of the variables related to the production units was found that 70% and 73% of producers interviewed have inefficient irrigation systems, i.e. furrow or flood. More than 60% use the well in partnership, suggesting that most of the producers of region obtain collective concessions for the use of groundwater. 68% of the producers from Calera and 79% from Chupaderos grow vegetables. The region of these aquifers is characterized by 46% of producers grow pepper, 33% corn and beans, 15% garlic, onion, tomato, carrot or fruit and 7% forage (Mojarro *et al.*, 2010).

90% of agricultural producers from Calera and 86% from Chupaderos expressed their willingness to participate in a campaign to save water in exchange for government support. From these 88% and 91%, respectively, prefer a government support in technology and 12% and 9% preferred monetary

acuerdo a lo indicado por la teoría de la oferta y los resultados encontrados por Carpio *et al.* (2011), entre mayor es el monto del intervalo mayor será el número de productores dispuestos a aceptar ahorrar agua a cambio de un apoyo gubernamental. Los porcentajes registrados en los diferentes intervalos sugieren la posibilidad de crear un mercado diferenciado para el ahorro del agua subterránea de uso agrícola, lo que pudiera abrir una alternativa en la reasignación del agua subterránea.

Para determinar la significancia conjunta de los parámetros estimados fue aplicada la prueba estadística de Wald, la hipótesis nula de que los estimadores son iguales a cero fue rechazada en las dos ecuaciones. Los coeficientes estimados con la ecuación de la DAA ahorrar agua subterránea de uso agrícola, presentados en el Cuadro 2. Los coeficientes muestran que de las variables relacionadas a la unidad de producción, el cultivar hortalizas en Chupaderos influye negativamente en la DAA. Estos resultados muestran que el programa de reconversión de cultivos ha mostrado sus efectos en la expansión del área sembrada de hortalizas en las regiones de ambos acuíferos, implicando mayor consumo de agua para riego.

support. The percentages of responses in each of the intervals show a direct relationship with WTA, which behaves according to that indicated by the theory of supply and the results found by Carpio *et al.* (2011), the greater is the amount of the interval the greater is the number of producers willing to accept save water in exchange for government support. The percentages recorded at different intervals suggest the possibility of creating a separate market for saving groundwater for agricultural use, which could open an alternative in the reallocation of groundwater.

To determine the joint significance of the estimated parameters was applied the statistical Wald test; null hypothesis that the estimates are zero was rejected in both equations. The estimated coefficients in the equation of WTA save groundwater for agricultural use, presented in Table 3. The coefficients show that variables related to the production unit, to grow vegetables in Chupaderos influences negatively WTA. These results show that the conversion program of crops has shown its effects on the expansion of the area planted for vegetables in the regions of both aquifers, implying greater consumption of water for irrigation.

#### Cuadro 2. Coeficientes estimados de la disponibilidad a aceptar (DAA) ahorrar agua.

Table 2. Estimated coefficients of willingness to accept (WTA) save water.

Variable	Calera		Chupaderos	
	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value
Constant	2.55***	0	2.709***	0
Sisriego (sistema de riego)	0.318	0.279	-0.195	0.475
Asociaci (pozo utilizado en asociación)	0.405	0.171	-0.254	0.256
Hortaliz (cultivo de hortalizas)	-0.423	0.14	-0.669**	0.018
Quimind (contaminación químicos industriales)	0.49*	0.059	0.64**	0.033
Sbmeamb (efecto al medio ambiente)	0.943**	0.012	-0.039	0.862
Sexpltdo (nivel de sobreexplotación del acuífero)	-0.163	0.579	0.423*	0.067
Fuente (agricultura única fuente de ingresos)	-0.135	0.616	0.2	0.404
Familia (número de miembros en la familia)	-0.512**	0.035	-0.873***	0
Dpend (número de dependientes económicos)	0.406	0.124	0.326	0.283
Ingreso (ingreso mensual familiar)	0.27	0.307	-0.834**	0.013
Edad (edad del productor agrícola)	0.071	0.51	0.216**	0.045
Sigma	1.034*	0.088	0.889***	0

Nota= \*\*\*/ \*\*/ \*/ denotan niveles de significación estadística 1%, 5% y 10% respectivamente.

En cuanto al nivel de conocimiento y percepción de los productores sobre la sobreexplotación de los acuíferos, el contar con información sobre la contaminación causada a los acuíferos por los químicos usados en la industria es una variable que ejerce una influencia positiva en la DAA. Lo mismo sucede con el conocimiento sobre el daño que la sobreexplotación del acuífero de Calera causa al medio

Regarding the level of knowledge and perception of producers about overexploitation of aquifers, to count with information on pollution caused to aquifers by chemicals used in industry is a variable that has a positive influence in WTA. The same happens with the knowledge on the damage that Calera aquifer overexploitation cause to the environment and knowing that the Chupaderos aquifer is

ambiente y el saber que el acuífero de Chupaderos está sobreexplotado. Estos resultados ponen en evidencia la importancia de mantener informados a los productores sobre la situación de sobreexplotación de los acuíferos y sus efectos en la calidad del agua y en el medio ambiente. Además, pueden coadyuvar en el diseño de la estrategia propuesta por la CNA para ahorrar agua de uso agrícola y que tienen como meta disminuir el consumo en 50% durante un periodo de 10 años (Garbrecht *et al.*, 2013).

El número de integrantes de la familia de los productores afecta de forma negativa la DAA. Esto es, conforme aumenta el número de miembros en la familia el rango de ahorro de agua que están dispuestos a aceptar los productores disminuye. En Chupaderos la variable ingresos resultó negativa y estadísticamente significativa, implicando que entre menos ingresos percibe el productor mayor es su DAA a ahorrar agua a cambio de un apoyo gubernamental, situación que no sucedió con los productores de Calera. Este resultado se puede atribuir a que el nivel de ingresos promedio reportado por los productores entrevistados de Chupaderos es menor al de los productores Calera.

En Chupaderos, la variable edad impacta positivamente a la DAA, lo que significa que entre mayor edad de los productores mayor es su DAA. En resumen se puede decir que en Chupaderos los núcleos familiares pequeños, con bajos niveles de ingreso y con jefes de familia de edad avanzada son los que están dispuestos a aceptar una gratificación por ahorrar agua en el riego de sus cultivos, situación que pudiera darse a cambio de apoyos en la instalación de sistemas de riego por goteo o aspersión. Con base en los resultados presentados, la hipótesis de investigación se prueba parcialmente.

La media estimada de la DAA ahorrar agua por parte de los productores a cambio de un apoyo gubernamental resultó de 2.12 \$ m<sup>-3</sup> y 2.24 \$ m<sup>-3</sup> para Calera y Chupaderos respectivamente. Lo que en porcentaje corresponde a una aceptación a ahorrar agua de 21.2% ha<sup>-1</sup> y 22.4% ha<sup>-1</sup> del agua concesionada para riego en cada uno de los acuíferos. Los valores monetarios representan 27% del precio de un m<sup>3</sup> de agua de uso residencial del municipio de Zacatecas en el rango de consumo de 1 a 10 m<sup>3</sup>, en este rango de consumo el precio por m<sup>3</sup> para uso comercial es de \$12.00 y para uso industrial y hotelero es de \$13.76 (JIAPAZ, 2013). Esto indica que el agua ahorrada en la agricultura podría ser pagada por los usuarios beneficiados.

overexploited. These results highlight the importance of keeping informed the producers about the situation of over-exploitation of aquifers and its effects on water quality and in the environment. Besides they can assist in the design of the strategy proposed by the CNA to save water for agricultural use and aims to reduce the consumption by 50% over a period of 10 years (Garbrecht *et al.*, 2013).

The number of family members of producers negatively affects WTA. That is, as the number of members in the family increases, the range of water saving that is willing to accept the producer decreases. In Chupaderos the income variable was negative and statistically significant; implying that the less income a producer receives the greater is WTA, to save water in exchange for government support, situation that did not occur with the producers from Calera. This result can be attributed to the level of average income reported by interviewed producers from Chupaderos is lower than those from Calera producers.

In Chupaderos, the age variable positively impacts WTA, which means that the greater age of producers the greater is its WTA. In summary it can be said that in Chupaderos small households with low income levels and with aged household heads, are those who are willing to accept a reward for saving water in the irrigation of their crops, situation that could be given in exchange for support in the installation of sprinkler or drip irrigation systems. Based on the results presented, the research hypothesis was partially tested.

The estimated mean of WTA to save water by producers in exchange for government support resulted in 2.12 \$ m<sup>-3</sup> and 2.24 \$ m<sup>-3</sup> for Calera and Chupaderos respectively. That in percentage corresponds to a willingness to save water of 21.2% ha<sup>-1</sup> and 22.4% ha<sup>-1</sup> of irrigation water concession in each aquifer. Monetary values represent 27% of the price of m<sup>3</sup> of water for residential use in the municipality of Zacatecas in the consumption range 1 to 10 m<sup>3</sup>, in this range of consumption the price per m<sup>3</sup> for commercial use is \$12.00 and for industrial and hotel use is \$13.76 (JIAPAZ, 2013). This indicates that the water saved in agriculture could be paid by the beneficiated users.

REPDA states that water concessions that agricultural producer has is on average 6 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, therefore 21.2% of WTA could mean for the producer of Calera a revenue of 2 696.6 \$ ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of government support in money or technology by saving 1 272 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of water.

El REPGA señala que la concesión de agua que tiene el productor agrícola es en promedio  $6\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ , por lo tanto 21.2% de DAA le podría significar al productor de Calera un ingreso de  $2,696.6\ \$\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$  de apoyo gubernamental en dinero o en tecnología por el ahorro de  $1\,272\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$  de agua. En el caso del productor de Chupaderos la compensación sería de  $3\,010.6\ \$\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$  por un ahorro de agua de  $1\,344\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ . El porcentaje de ahorro del agua concesionada por hectárea a los productores de los acuíferos resultado del modelo aplicado podría hacer posible mantener su capacidad productiva si los productores que aceptaron participar en la campaña de ahorro de agua a cambio de un apoyo gubernamental en tecnología logran cambiar sus sistemas de riego a más eficientes.

De acuerdo a Garbrecht *et al.* (2013, 73) el uso de sistemas de riego por aspersión y goteo en el área del acuífero de Calera ha logrado una reducción en bruto de agua de riego 32% sin pérdida en productividad debido a que el incremento de eficiencia en la irrigación no impacta la cantidad neta de riego, el valor de los cultivos de cobertura o el valor de mercado de los cultivos. El escalamiento de sistemas de riego se debe implementar acompañado de políticas que impidan a los productores aumentar la superficie irrigada para otros cultivos.

## Conclusiones

Los productores de Calera y Chupaderos mostraron alta DAA ahorrar agua de uso agrícola a cambio de una gratificación en tecnología, esto es, cambiar su sistema de riego emigrando a un nivel tecnológico superior a través de apoyo gubernamental. La mayoría de los productores cuenta con sistemas de baja eficiencia y consideran una mejora de su actividad productiva transitar a un sistema de riego tecnológicamente mejor. Este cambio haría posible disminuir el consumo de agua en el riego agrícola sin afectar el nivel de productividad y con la posibilidad de reducir sus costos de bombeo. El diseño de políticas públicas en donde se establezca el intercambio de ahorro de agua por sistemas de riego más eficientes, implica definir controles de uso del agua muy estrictos en donde no se permita el incremento de la superficie de riego.

De acuerdo a los resultados obtenidos los productores de Calera y Chupaderos estarían dispuestos a ahorrar en promedio 21.2%  $\text{ha}^{-1}$  y 22.4%  $\text{ha}^{-1}$  de los  $6\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$

In the case of producers from Chupaderos the compensation would be of  $3\,010.6\ \$\text{ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$  for a water saving of  $1\,344\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$ . The percentage of water savings per hectare concession for producers from the aquifers, result of the applied model could make possible to maintain their productive capacity if producers who agreed to participate in the campaign to save water in exchange for government support in technology achieve to change their watering systems to more efficient ones.

According to Garbrecht *et al.* (2013) the use of sprinklers and drip irrigation in the area of the aquifer from Calera has achieved a reduction in gross irrigation water by 32% without loss in productivity due to increased efficiency in the irrigation does not impact the net amount of farm water, the value of cover crops or the market value of crops. The scaling of irrigation systems should be implemented along with policies that prevent producers from increasing the irrigated area for other crops.

## Conclusions

Producers from Calera and Chupaderos showed high WTA save water for agricultural use in exchange for a reward in technology, that is, change their irrigation system to a higher technological level through government support. Most producers have low efficiency systems and consider an improvement of their productive activity to switch to a better irrigation system. This change would make possible to reduce the consumption of farm water without affecting the level of productivity and the possibility to reduce pumping costs. The design of public policies that establishes the exchange of water saving for more efficient irrigation systems implies defining strict water use controls, where the increase in irrigated area is not allowed.

According to the results obtained the producers from Calera and Chupaderos would be willing to save an average of 21.2%  $\text{ha}^{-1}$  and 22.4%  $\text{ha}^{-1}$  of the  $6\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$  concession to irrigate their crops. This translates to  $1\,272\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$  and  $1\,344\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$  of water respectively, which would help to meet the goals from CNA in reducing water withdrawals for the sustainability of the aquifers in the long term thus to assess the cost of the proposed policy.

In order to count with more information that may help to recover and strengthen the ecological balance of aquifers, the design of a model where it is also considered scaling

año<sup>-1</sup> concesionados para el riego de sus cultivos. Esto se traduce en 1 272 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 1 344 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de agua respectivamente, lo que coadyuvaría a cumplir las metas de la CNA en reducción de la extracción de agua para la sustentabilidad de los acuíferos en el largo plazo, así como evaluar el costo de la política propuesta.

A fin de contar con mayor información que coadyuve a recuperar y consolidar el equilibrio ecológico de los acuíferos se recomienda el diseño de un modelo en donde se considere además del escalamiento de los sistemas de riego, la conversión para regar cultivos eficientes, importar agua desde otras cuencas o transferir agua entre sectores.

## Literatura citada

- Acharya, G. and Barbier, E. B. 2000. Valuing groundwater recharge through agricultural production in Hadejia–Nguru wetlands in Northern Nigeria. *Agr. Econ.* 22:247-259.
- Alberini, A. 1995. Efficiency vs bias of willingness-to-pay estimates: Bivariate and interval data models. *J. Environ. Econ. Manage.* 29:169-180.
- Booker, J. F.; Howitt, R. E.; Michelsen, A. M. and Young, R. A. 2012. Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Res. Modeling.* 25(1):168-218.
- Carpio, C. E.; Ramírez, O. A. and Boonsaeng, T. 2011. Potential for tradable water allocation and rights in Jordan. *Land Econ.* 87:595-609.
- Cameron, T. A. and Huppert, D. D. 1989. OLS versus ML estimation of non-market resources values with payment card interval data. *J. Environ. Econ. Manag.* 17:230-246.
- Chatterjee, S. 2008. Groundwater management in the arsenic belt of India. Ph Tesis, Queen's University Belfast, Northern Ireland. 8-20 pp.
- Choe, K.; Whittington, D. and Lauria, D. T. 1996. The economic benefits of surface water quality improvements in developing countries: a case study in Davao, Philippines. *Land Econ.* 72:519-537.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2007. La gestión del agua en México avances y retos 2006. CNA, México, D. F. <http://www.conagua.gob.mx>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2009. Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea. Acuífero (3225). Calera, estado de Zacatecas. CNA, México, D. F. <http://www.conagua.gob.mx>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2011a. Disponibilidad del agua subterránea. Gobierno Federal. SEMARNAT. CNA, México, D. F. <http://www.conagua.gob.mx>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2011b. Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D. F. <http://www.conagua.gob.mx>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2011c. Estado de Zacatecas. Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua. Estado de Zacatecas. <http://www.conagua.gob.mx>.
- of irrigation systems, conversion to water efficient crops, importing water from other basins or transfer water between sectors is recommended.

*End of the English version*



- De Janvry, A. y Sadoulet, E. 2004. Estrategias de ingresos de los hogares rurales de México: el papel de las actividades desarrolladas fuera del predio agrícola. *In: Naciones Unidas (Eds.). Empleo e ingresos rurales no agrícolas en América Latina. CEPAL. Serie Seminarios y Conferencias No. 35. Santiago de Chile. 107-128 pp.*
- Echavarría, F. G.; Medina-García, G.; Rumayor-Rodríguez, A.; Serna-Pérez, A.; Salinas-González, H. y Bustamante-Wilson, J. G. 2009. Diagnóstico de los recursos naturales para la planeación de la intervención tecnológica y el ordenamiento ecológico. Libro técnico Núm. 10. INIFAP, México. 11-42 pp.
- Fujita, Y.; Fujii, A.; Furukawa, S. and Ogawa, T. 2005. Estimation of willingness-to-pay (WTP) for water and sanitation services through contingent valuation method (CVM). A case study in Iquitos City, the Republic of Peru. *JBICI Rev.* 11:59-87.
- Garbrecht, J.; Mojarro, F.; Echavarría, F.; Bautista, C.; Brauer, D. and Steiner, J. L. 2013. Sustainable utilization of the Calera aquifer, Zacatecas, Mexico. *Appl. Eng. Agr.* 29:67-75.
- Garrido, A.; Iglesias, E. y Blanco, M. 1996. Análisis de la actitud de regantes ante el establecimiento de políticas de precio público y mercados de agua. *Rev. Esp. Econ. Agr.* 78:139-162.
- Greene, W. H. 2002. LIMDEP Version 8. Econometric modeling guide. Econometric Software, Inc., New York. E21-54-55 pp.
- Griffin, R. C. and Mjelde, J. W. 2000. Valuing water supply reliability. *Amer. J. Agr. Econ.* 82:414-426.
- Hernández, J. E.; Gowda, P. H.; Howell, T. A.; Steiner, J. L.; Mojarro, F.; Núñez, E. P. and Ávila, J. R. 2012. Modeling groundwater levels on the Calera aquifer region in Central Mexico using ModFlow. *J. Agr. Sci. Tech.* 2:52-61.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2011a. Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del cuestionario básico. INEGI, México. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=27302&s=est>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2011b. Sistema de cuentas nacionales de México. Producto interno bruto por entidad federativa, 2006-2010. Año base 2003. INEGI, México, D. F.
- JIAPAZ. 2013. Tarifas. Junta intermunicipal de agua potable y alcantarillado de Zacatecas. JIAPAZ-GODEZA. Zacatecas. <http://jiapaz.gob.mx/uploads/Documentos/Articulo6/Cuotas.pdf>.
- Knapp, K. C.; Weinberg, M.; Howitt, R. and Posnikoff, J. F. 2003. Water transfers, agriculture, and groundwater management: a dynamic economic analysis. *J. Environ. Manage.* 67:291-301.
- Koundouri, P. 2004. Current issues in the economics of groundwater management. *J. Econ. Surv.* 18:703-740.
- Medellín-Azuara, J.; Howitt, R. E.; Waller-Barrera, C.; Mendoza-Espinosa, L.G.; Lund, J. R. and Taylor, J. E. 2009. A calibrated agricultural water demand model for three regions in Northern Baja California. *Agrociencia.* 43:83-96.

- Mendieta, J. C. 2005. Manual de valoración económica de bienes no mercadeables. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. 123-128 pp.
- Mitchell, R. C. and Carson, R. T. 1989. Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. John Hopkins University Press, Washington, DC. 295 p.
- Mojarro, F.; Bautista, C. F.; Santana, H.; Medina, A. y Martínez, J. J. 2010. Diagnóstico y políticas de manejo para la sostenibilidad de 6 acuíferos en el estado. Informe de Investigación. SAGARPA-SEDAGRO-UAZ, Zacatecas. 10-34 pp.
- Padilla-Bernal, L. E. y Pérez-Veyna, O. 2008. El consumidor potencial de durazno (*Prunus persica*) orgánico en Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí. *Agrociencia*. 42:379-389.
- Rubiños-Panta, J. E.; Martínez-Damián, M. A.; Palacios-Vélez, E.; Hernández-Acosta, E. y Valdivia-Alcalá, R. 2007. Valor económico del agua y análisis de las transmisiones de derechos de agua en distritos de riego de México. *Terra Latin*. 25:43-49.
- Seckler, D.; Barker, R. and Amarasinghe, U. 1999. Water scarcity in the twenty-first century. *Intern. J. Water Res. Devel*. 15:29-42.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2006. El comportamiento del ingreso rural en México 1994- 2004. México, D. F.
- Thomas, J. F. and Syme, G. J. 1988. Estimating residential price elasticity of demand for water: a contingent valuation approach. *Water Resour. Res.* 24:1847-1857.
- Wada, Y.; van Beek, L.; van Kempen, C.; Reckman, J.; Vasak, S. and Bierkens, M. 2010. Global depletion of groundwater resources. *Geophys. Res. Lett.* 37:1-5.
- Wei, Y.; Davidson, B.; Chen, D.; White, R.; Li, B. and Zhang, J. 2007. Can contingent valuation be used to measure in situ value of groundwater on the North China Plain? *Water R. Manage.* 21:1735-1749.
- World Health Organization (WHO). 2009. 10 facts about water scarcity. <http://who.int/features/factfiles/water/en/>.
- Young, R. A. 2005. Determining the economic value of water: concepts and methods. *Resources for the Future*, Washington, D. C. 3-42, 135-147 pp.