

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL ACUÍFERO CUAUTITLÁN-PACHUCA MEDIANTE EL USO DE LA METODOLOGÍA MESMIS

SUSTAINABILITY EVALUATION OF THE CUAUTITLÁN-PACHUCA AQUIFER USING MESMIS METHODOLOGY

Efraín Neri-Ramírez¹; J. Enrique Rubiños-Panta¹; Oscar L. Palacios-Velez¹; José L. Oropeza-Mota¹; Héctor Flores-Magdaleno¹; Ignacio Ocampo-Fletes²

¹Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, México. C. P. 56230.

Correo-e: neri.efrain@colpos.mx (Autor para correspondencia).

²Colegio de Postgraduados, km 125.5 Carretera México-Puebla, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. C. P. 72760.

RESUMEN

El acuífero Cuautitlán-Pachuca ocupa la porción norte de la cuenca del Valle de México, justificando su nombre por la presencia de Cuautitlán en el Estado de México y Pachuca en el estado de Hidalgo. Dicho acuífero en la actualidad está sobreexplotado. Por tal motivo en este trabajo se estimó la sustentabilidad del acuífero, utilizando el marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Se realizó un estudio longitudinal comparando dos sistemas, el primero se analizó para el periodo 1970-1990 (sistema de referencia) y el segundo para el periodo 1991-2010 (sistema alternativo). Se analizaron 14 indicadores ambientales, económicos y sociales, para los dos periodos de tiempo. Encontrándose que los aspectos ambientales y económicos presentan los mayores rezagos con el paso de los años, en el caso de los indicadores sociales mostraron avances hacia la equidad. También se encontró que 9 de los indicadores presentaron mayor cercanía al valor óptimo propuesto en el sistema de referencia y solo cinco mostraron un acercamiento hacia el óptimo en el sistema alternativo. Los resultados muestran que el acuífero es menos sustentable en la actualidad.

PALABRAS CLAVE:

Indicadores, sobreexplotación, económico, social, ambiental.

ABSTRACT

The aquifer Cuautitlan-Pachuca occupies the northern portion of the basin of the Valley of Mexico, justifying its name from the presence of Cuautitlan in the State of Mexico and Pachuca in Hidalgo. This aquifer is overexploited at present, because the recharge is less than abstraction, for this reason in this work was estimated sustainability of the aquifer, using the framework for assessing management systems incorporating natural resources sustainability indicators (MESMIS). We performed a longitudinal study comparing of two systems, the first was analyzed for the period 1970-1990 (reference system) and the second for the period 1991-2010 (alternative system). They analyzed 14 environmental indicators, economic and social, for the two periods. We found that environmental and economic aspects present the greatest setbacks over the years, in the case of social indicators showed progress toward equity. We also found that 9 of the indicators presented closer to the optimum value proposed in the reference system and only five showed a close to optimal in the alternative system. The results show that the aquifer is less sustainable today.

KEYWORDS: Indicators, overexploitation, economic, social, environmental.



Recibido: 28 de noviembre de 2011
Aceptado: 27 de febrero de 2013
doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.11.086
<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los setenta en México, ha aumentado sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados, 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003, 104 en el 2006, 101 en 2007; sin embargo, en el año 2009 se redujo el número a 100, valor que se mantuvo en el 2010. De éstos se extrae el 58 % del agua subterránea para todos los usos (EAM, 2011). En el caso del acuífero Cuautitlán-Pachuca, la extracción de agua subterránea en los últimos años ha provocado la sobreexplotación del mismo, ya que la recarga es bastante menor que la extracción. Para estimar la distancia y el sentido de la variación del sistema ambiental correspondiente al acuífero Cuautitlán-Pachuca, entre el estado inicial (dato de la realidad) y el estado de transición hacia un escenario sustentable de desempeño de la sociedad; se utilizaron indicadores que representaron variables del sistema y que permitieron medir el grado de afectación ambiental, económica y social de la sobreexplotación del acuífero, como lo recomienda Achkar (2005). Dichos indicadores fueron determinados mediante revisión bibliográfica y visitas de campo a la zona de interés, para después ser analizados y ser expresados por un valor de sustentabilidad óptimo contra el cual comparar el encontrado en el sistema analizado, en cada periodo. Lo anterior, con la finalidad de determinar en cada aspecto (ambiental, económico y social) las variables que pueden determinar que el acuífero sea más o menos sustentable, mediante la implementación de medidas correctivas que permitan la recuperación del mismo, o en su defecto determinar si se ha rebasado el umbral de acción para hacerlo sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El acuífero Cuautitlán-Pachuca ocupa la porción norte de la cuenca del Valle de México, siendo su zona de influencia mayormente Cuautitlán, Estado de México y Pachuca, Hidalgo. El límite del acuífero corresponde al publicado por la CONAGUA en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el 28 de agosto de 2009, y que se muestra en la Figura 1, donde se observa la localización y área de influencia. De acuerdo a los límites establecidos en la poligonal, el área administrativa es de 3,893 km².

Definición de los indicadores de sustentabilidad del acuífero

El acuífero se analizó desde dos escenarios distintos, el primero comprendió un periodo de tiempo de 1970 a 1990 (sistema de referencia) y el segundo de 1991 a 2010 (sistema alternativo), de manera que pudieran ser comparados para evaluar el estado de sustentabilidad. Dicho ejercicio se hizo con la ayuda del "Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS)" desarrollada por Masera et al.

INTRODUCTION

Beginning in the 1970's in Mexico, the number of overexploited aquifers has increased substantially: 32 in 1975, 36 in 1981, 80 in 1985, 97 in 2001, 102 in 2003, 104 in 2006, and 101 in 2007. However, in 2009 this number fell to 100, where it remained in 2010. From these aquifers, 58 % of the groundwater for all uses is extracted (Estadísticas del Agua en México, (EAM) 2011). For the case of the Cuautitlán-Pachuca aquifer, groundwater extraction in recent years has led to overexploitation of the aquifer, as recharge is significantly lower than extraction. In order to estimate the distance and direction of the variation of the Cuautitlán-Pachuca aquifer environmental system, between the initial stage (reality datum) and the transition stage towards a sustainable society performance scenario, indicators that represented system variables and allowed measuring the degree of environmental, economic and social impact of the aquifer's overexploitation were used, as recommended by Achkar (2005). These indicators were determined through literature review and visits to the area of interest, for later analysis and codification into an optimal sustainability value against which the value found in the analyzed system was compared, in each period. This was done in order to determine in each aspect (environmental, economic and social) the variables that can determine whether the aquifer is more or less sustainable, through the implementation of corrective measures for the recovery of the aquifer, or otherwise to determine whether the action threshold to make it sustainable has been exceeded.

MATERIALS AND METHODS

Location

The Cuautitlán-Pachuca aquifer occupies the northern portion of the Valley of México watershed, with its influence area being mainly Cuautitlán, State of México and Pachuca, Hidalgo. The aquifer's limit corresponds to that published by the Mexican National Water Commission (CONAGUA, for its acronym in Spanish) on August 28, 2009, in the Official Gazette (DOF, for its acronym in Spanish). Figure 1 shows the aquifer's location and influence area. According to the limits established for the mapped region, the administrative area corresponds to 3,893 km².

Definition of the aquifer's sustainability indicators

The aquifer was analyzed from two distinct scenarios, the first comprised the 1970-1990 period (reference system) and the second the 1991-2010 period (alternative system), with the purpose of comparing them in order to assess the sustainability status. This exercise was performed using the Framework for the Evaluation of Natural Resource Management Systems incorporating Sustainability Indicators (MESMIS), developed by Masera et al. (1999). The process for defining and measuring the 14 indicators (6 environ-

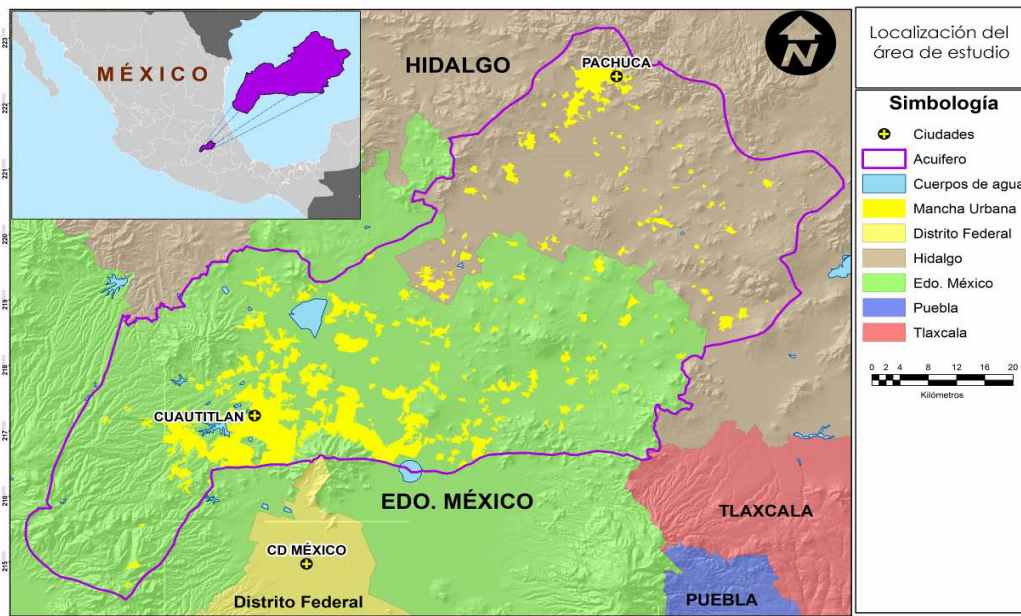


FIGURA 1. Localización acuífero Cuautitlán-Pachuca. (Galindo et al., 2010)

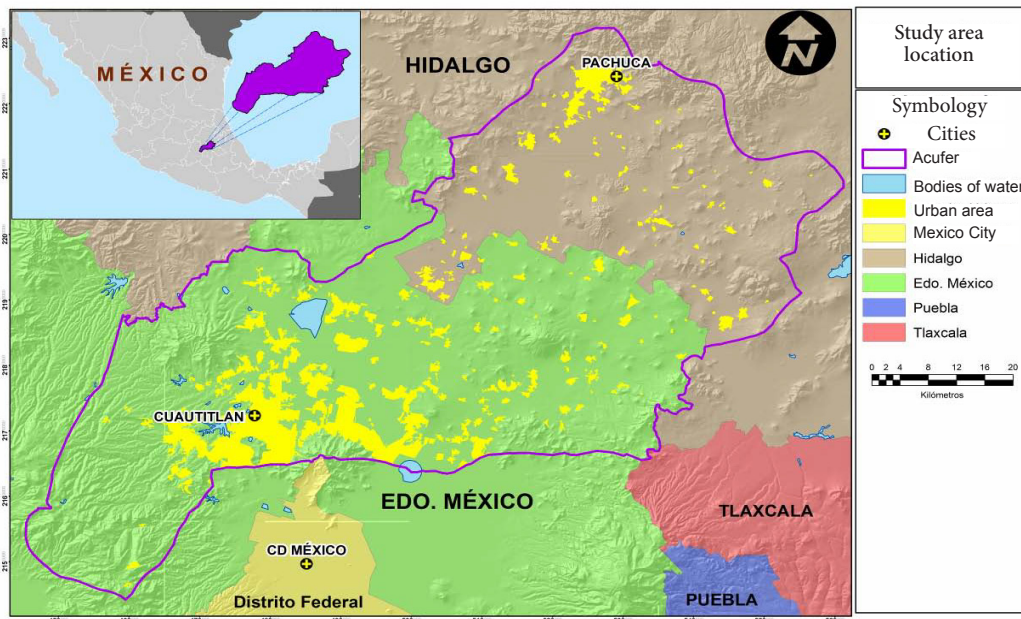


FIGURE 1. Location of the Cuautitlán-Pachuca aquifer. (Galindo et al., 2010).

(1999). El proceso para la definición y medición de los 14 indicadores (6 ambientales, 5 económicos y 3 sociales) de este trabajo tuvo que ajustarse a una serie de principios o atributos de los sistemas sustentables. En el marco MESMIS, el conjunto de indicadores medidos y monitoreados puede considerarse como un termómetro de los atributos de sustentabilidad para un sistema socioambiental específico, como lo fue para el caso del acuífero Cuautitlán-Pachuca. El conjunto de indicadores y sus formas de medición fueron determinados por la escala y el objetivo de la evaluación, además de los aspectos que debilitan o fortalecen la sustentabilidad, es decir, cada indicador corresponde a los atribu-

mental, 5 economic, and 3 social) used in this study had to be adjusted to a series of principals and attributes of sustainable systems. In MESMIS, the set of measured and monitored indicators can be viewed as a thermometer of the sustainability attributes for a specific socio-environmental system, as was the case for the Cuautitlán-Pachuca aquifer. The group of indicators and their measuring means were determined by the evaluation scale and objective, as well as the aspects that weaken or strengthen sustainability, that is, each indicator corresponds to attributes related to: a) productivity, b) stability, resilience and reliability, c) adaptability, d) equity, and e) self-management (see Table 1).

CUADRO 1. Criterios de diagnóstico e indicadores de sustentabilidad.

Atributo	Criterios de diagnóstico	Indicadores	Método de medición	Instrumento	Área de evaluación
Productividad	Eficiencia	1) Volumen de extracción	Volumen extracción por pozo profundo	REPDA*	Ambiental
		2) Volumen de recarga	Volumen de recarga por lluvia	CONAGUA	Ambiental
		3) Consumo de agua en la agricultura	Volumen de agua destinado al riego	CONAGUA	Económico
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Diversidad	4) Número de usuarios con pozo de agua de acuerdo a su uso	Número de usuarios con agua de acuerdo a su uso	CENSO DEL CEAA	Social
	Conservación de recursos	5) Calidad química de agua	Nivel de contaminación de las aguas	CONAGUA	Ambiental
		6) Cambio de uso de suelo	Superficie agrícola cambiadas a uso urbano	PND*	Ambiental
		7) Costos de reúso del agua	Precio por L reutilizado en la agricultura	Variaciones históricas en registros	Económico
Uso de energía eléctrica	8) Costos de extracción	Precio por kW ^{.h-1}	CFE	Económico	
Adaptabilidad	Evolución del acuífero	9) Disponibilidad	Volumen de agua disponible para extracción.	CONAGUA	Ambiental
		10) Evolución del nivel estático	Medición del nivel de agua en el acuífero.	Sondeos en campo y CONAGUA	Ambiental
Equidad	Distribución del agua	11) Consumo per cápita	Consumo de agua por habitante.	Según metodología UNESCO	Económico
Autogestión	Generación de recursos	12) Valor económico del agua	Costo de un m ³ de agua subterránea	Variaciones históricas en registros	Económico
		13) Participación social en toma de decisiones	Porcentaje de usuarios participando en reunión de cotas	COTAS*	Social
		14) Índice de desarrollo humano	Grado de incremento de bienes para mejora de vida	CONAGUA	Social

*Consejo técnico de aguas subterráneas, (COTAS), Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012), Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Comisión Estatal de Agua y Alcantarillado de Hidalgo (CEAA).

TABLE 1. Diagnostic criteria and sustainability indicators.

Attribute	Diagnostic criteria	Indicators	Measurement method	Instrument	Evaluation area
Productivity	Efficiency	1) Extraction volume	Extraction volume per deep well	REPDA*	Environmental
		2) Recharge volume	Recharge volume by rain	CONAGUA	Environmental
		3) Water consumption in agriculture	Water volume used for irrigation	CONAGUA	Economic
Stability, resilience and reliability	Diversity	4) Number of well users according to use	Number of water users according to use	CEAA CENSUS	Social
	Resource conservation	5) Water chemical quality	Water pollution level	CONAGUA	Environmental
		6) Land-use change	Agricultural area changed to urban use	PND*	Environmental
		7) Water re-use costs	Price per re-used liter in agriculture	Historical variations in records	Economic
	Electricity use	8) Extraction costs	Price per kW·h ⁻¹	CFE	Economic
Adaptability	Aquifer evolution	9) Availability	Water volume available for extraction	CONAGUA	Environmental
		10) Evolution of the static level	Measurement of aquifer water level	Field surveys and CONAGUA	Environmental
Equity	Water distribution	11) Per capita consumption	Water consumption per inhabitant	According to UNESCO methodology	Economic
Self-management	Resource generation	12) Economic value of water	Cost of a m ³ of groundwater	Historical variations and in records	Economic
		13) Social participation in decision-making	Percentage of users participating in COTAS meetings	COTAS*	Social
		14) Human Development Index	Degree of increase in assets for life improvement	CONAGUA	Social

* Groundwater Technical Committees, (COTAS), National Development Plan (2007-2012), Public Registry of Water Rights (REPDA), National Water Commission (CONAGUA). Hidalgo's State Commission for Water and Sewerage (CEAA).

tos relacionados con: a) Productividad, b) Estabilidad, resiliencia y confiabilidad, c) Adaptabilidad, d) Equidad y e) Autogestión (Ver Cuadro 1).

Determinación de los indicadores y valores óptimos

El valor óptimo del indicador de volumen de extracción se obtuvo utilizando el software Visual Modflow (McDonald y Harbaugh, 1988), el cual permite realizar simulaciones de flujo subterráneo al mantener una extracción constante y variar el volumen de recarga; dando como resultado un volumen racional de extracción de $400 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$. Para la recarga del acuífero se tomó como valor óptimo $450 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ que es un valor mayor al registrado por el Diario Oficial de la Federación en el 2009 ($356.70 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$); y fue estimado con base en la simulación de escenarios al igual que en el caso de la extracción. De acuerdo con la publicación "Estadísticas del Agua en México", (2011), la agricultura utiliza tres cuartas partes del agua que se consume a nivel mundial; la industria utiliza 15 % y el uso en los hogares tan solo 10 %. Dentro del acuífero Cuautitlán-Pachuca, el 25.69 % de los pozos se usan para la agricultura, esto equivale a $55.91 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$, valor que fue tomado como óptimo (CEAA, 2009). Se tiene registro de 867 pozos, de los cuales 90 (8.23 %) corresponden al estado de Hidalgo, extrayendo un caudal aproximado de $3,425.32 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ (13.92 %). En contraste, el Estado de México extrae $20,871.40 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ (86.08 %), con 777 (71.02 %) pozos activos (CEAA, 2009). De manera que para determinar el valor óptimo de número de pozos fue necesario considerar los pozos activos (867), además del volumen de extracción y recarga del acuífero, por lo que se estimó el número de pozos óptimo en 694 pozos. Para el caso de la calidad del agua subterránea, el parámetro con que se evaluó fue la salinización determinada por los sólidos totales. De acuerdo a su concentración las aguas subterráneas se clasifican en dulces ($<1,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), ligeramente salobres ($1,000$ a $2,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), salobres ($2,000$ a $10,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y salinas ($>10,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (EAM, 2011). El límite entre el agua dulce y la ligeramente salobre coincide con la concentración máxima señalada por la modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, considerando lo anterior se tomó un valor óptimo de $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de sólidos totales. En cuanto al cambio de uso de suelo, el 51.16 % corresponde a área urbana, mientras que el uso agrícola ocupa un 48.83 % (PND, 2007); de manera que para mantener un equilibrio, el valor óptimo propuesto de superficie con cambio de uso de suelo (agrícola a público urbano) fue de $50 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$.

En relación al costo de reúso de agua, el m^3 de agua tratada varía de entre \$ 1.48 y \$ 5.00 dependiendo del nivel y tipo de tratamiento (Escalante et al., 2003). De manera que el valor óptimo para este indicador fue de \$1 por m^3 . En cuanto a los costos de extracción de agua, estos son regulados por las tarifas de bombeo de agua. Los precios en el consumo de energía eléctrica incluyen: servicios públicos, uso agrícola, así como tarifas generales para industriales (CFE, 2010). El $\text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$ tuvo un valor promedio en los últimos veinte años de menos de 0.80 centavos, considerando lo anterior

Determination of indicators and optimal values

The optimal value of the extraction volume indicator was obtained using Visual Modflow software (McDonald and Harbaugh, 1988), which allows performing belowground flow simulations by keeping constant extraction and varying the recharge volume, resulting in a rational extraction volume of $400 \text{ hm}^3 \cdot \text{year}^{-1}$. For the aquifer recharge, the optimum value was set at $450 \text{ hm}^3 \cdot \text{year}^{-1}$, which is a value higher than that recorded by the DOF (2009) ($356.70 \text{ hm}^3 \cdot \text{year}^{-1}$), and which was estimated based on the simulation scenarios as in the case of extraction. According to the publication Estadísticas del Agua en México (Water Statistics in Mexico) (2011), agriculture uses three quarters of the water consumed worldwide, while industry uses 15 % and homes only 10 %. Within the Cuautitlán-Pachuca aquifer, 25.69 % of the wells are used for agriculture, which is equivalent to $55.91 \text{ hm}^3 \cdot \text{year}^{-1}$, a value that was taken as optimal (State Commission for Water and Sewerage (CEAA for its acronym in Spanish), 2009). There are records for 867 wells, out of which 90 (8.23 %) correspond to the State of Hidalgo and extract at a flow rate of approximately $3,425.32 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ (13.92 %). By contrast, the State of México extracts $20,871.40 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ (86.08 %), with 777 (71.02 %) active wells (CEAA, 2009). Hence, to determine the optimal number of wells it was necessary to consider active wells (867), as well as the extraction and recharge volumes of the aquifer; thus, the optimum number of wells estimated was 694. As for groundwater quality, the evaluating parameter was salinization determined by total solids. According to its concentration, underground water is classified as fresh ($<1,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), slightly brackish ($1,000$ to $2,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), brackish ($2,000$ to $10,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), and saline ($>10,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (EAM, 2011). The limit between fresh and slightly brackish water coincides with the highest concentration indicated by the modification of the Official Mexican Standard NOM-127-SSA1-1994; considering this, an optimal value of $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ of total solids was taken. Regarding land use change, 51.16 % corresponds to urban area, while agricultural use occupies 48.83 % (National Development Plan (PND), 2007); hence, to maintain balance, the proposed optimal area value with land use change (agricultural to urban) was $50 \text{ ha} \cdot \text{year}^{-1}$.

In relation to water re-use cost, 1 m^3 of treated water ranges between \$ 1.48 and \$5.00 depending on the level and type of treatment (Escalante et al., 2003). Hence, the optimal value for this indicator was \$1 per m^3 . Regarding water extraction costs, they are regulated by water pumping rates. Electricity prices include: public services, agricultural use, and general industry tariffs (Federal Commission of Electricity (CFE), 2010). In the last 20 years, the average price of a $\text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$ was lower than 0.80 cents; considering this, a value of $\$1 \text{ kW} \cdot \text{h}^{-1}$ was taken as the optimal cost for the indicator. Groundwater availability is the average annual volume that can be extracted from a hydro-geological unit for various uses, additional to the extraction already granted and the natural discharge

se tomó como costo óptimo para el indicador un valor de $\$1 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$. La disponibilidad es el volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de una unidad hidrogeológica para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas (NOM-011-CNA-2000). De acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en 2009, el acuífero no cuenta con disponibilidad de agua subterránea, al contrario tiene un déficit de $190 \text{ hm}^3\cdot\text{año}^{-1}$ de manera que con base en una simulación de escenarios mediante el uso del software Visual Modflow (McDonald y Harbaugh, 1988), se consideró como valor óptimo $50 \text{ hm}^3\cdot\text{año}^{-1}$. Con relación a la evolución del nivel estático, de acuerdo con registros históricos del CEEA y trabajo de campo (2010), se encontró que el abatimiento medio anual en el periodo de 1970 a 2010 fue de $2.1 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$. Considerando lo anterior se tomó un valor de $0.5 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$ como el abatimiento óptimo. En cuanto al consumo per cápita que se refiere a la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de $50 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, es decir, $18250 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ según lo publicado por la UNESCO, (2003). Sin embargo se consideró una cantidad mínima de $100 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ o $36,500 \text{ L}\cdot\text{persona}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ como óptimo para el área urbana (dominante en la zona de estudio). En cuanto al valor económico del agua subterránea, éste se mide con los beneficios que genera o, en otras palabras, en los servicios que proporciona (Kemper, 2002). El costo promedio de un m^3 de agua es de $\$11.60$ para uso público urbano y para agricultura es de $\$3.00$ debido al subsidio. De manera que se tomó como valor óptimo de costo de agua por m^3 de $\$12.00$, es decir, un costo homogenizado sin importar el uso. El nivel de participación de los usuarios se estimó a través de los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) que están formados por todos aquellos que cuentan con un título de concesión por cada uso del agua y son representados a través de un Consejo Directivo (Sandoval, 2004). De manera que el nivel de participación en la toma de decisiones por parte de los usuarios de acuerdo a su uso fue establecido en 100 % como el valor óptimo. Finalmente el índice de desarrollo humano (IDH), que permite medir como una sociedad mejora sus condiciones de vida a través de un incremento de los bienes con los que puede cubrir sus necesidades básicas (salud, educación, ingreso); un IDH con un valor de uno corresponde al máximo, mientras que cero establece que no existe avance. En el caso del acuífero Cuautitlán-Pachuca este índice se encuentra con un valor promedio de 0.86 (CONAGUA, 2009), sin embargo se consideró para este indicador un valor óptimo de 1 o 100 %.

Ahora bien el sistema considerado en este trabajo y que comprendió dos periodos de tiempo, fueron seleccionados debido a que se contaban con datos históricos de esos años, sin embargo para poder implementar la metodología MESMIS para la determinación de la sustentabilidad en el acuífero Cuautitlán-Pachuca, fue necesario establecer valores ponderados puntuales para cada indicador en su respectivo subsistema.

allocated, without endangering ecosystem balance (NOM-011-CNA-2000). According to what was published in the Official Gazette in 2009, the aquifer does not have ground water availability; on the contrary, it has a $190 \text{ hm}^3\cdot\text{year}^{-1}$ deficit; consequently, based on simulation scenarios using Visual MODFLOW software (McDonald and Harbaugh, 1988), an optimal value of $50 \text{ hm}^3\cdot\text{year}^{-1}$ was considered. Regarding the evolution of the static level, according to CEEA historical records and field visits (2010), it was found that the average annual abatement in the 1972-2010 period was $2.1 \text{ m}\cdot\text{year}^{-1}$. Considering this, a value of $0.5 \text{ m}\cdot\text{year}^{-1}$ was taken as the optimal abatement. According to UNESCO, (2003), per capita water consumption, that is, the appropriate water amount for human consumption (drinking, cooking, personal hygiene and household cleaning), is 50 liters per person per day ($\text{L}\cdot\text{per}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$), that is, $18,250 \text{ L}\cdot\text{per}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$. However, a minimum amount of $100 \text{ L}\cdot\text{per}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ or $36,500 \text{ L}\cdot\text{per}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ was considered as optimal for the urban area (dominant in the study area). The economic value of groundwater is measured by the benefits it generates or, in other words, the services it provides (Kemper, 2002). The average cost of 1 m^3 of water is $\$11.60$ for public urban use, and $\$3.00$ for agriculture due to the subsidy. Thus, $\$12.00$ per water m^3 was taken as the optimal cost value, that is, a homogenized cost regardless of use. User participation level was estimated through the Groundwater Technical Committees (COTAS, for their acronym in spanish) formed by all those holding a concession for every water use and that are represented by a Board of Directors (Sandoval, 2004). Hence, the optimal value of the level of participation in decision-making by users, according to their use, was set at 100 %. Finally, the Human Development Index (HDI) measures how a society improves its living conditions through an increase in assets which can meet its basic needs (health, education, income); a HDI value of one is the maximum, whilst zero indicates that there is no advance. For the Cuautitlán-Pachuca aquifer, this index has an average value of 0.86 (CONAGUA, 2009); however, an optimal value of 1 or 100 % was considered for this indicator.

The system used in this work consists of two time periods, which were selected because of the availability of historical data for those years; however, to implement the MESMIS methodology for determining the sustainability of the Cuautitlán-Pachuca aquifer, it was necessary to establish specific weighted values for each indicator in its respective subsystem.

Regarding extraction volume, the values were obtained from the comparison of the historical extraction record in the area bounded by the Cuautitlán-Pachuca aquifer, and based on that published in the Official Gazette, 2009. For recharge volume, values calculated based on historical rainfall and measurements from CONAGUA, and publications from the DOF (2009) were considered. For water consumption in agriculture, historical records published by CONAGUA (CONAGUA, 2011) were taken. In the two periods considered, the number of well users was obtained from CEEA

Ahora bien en cuanto al volumen de extracción, los valores encontrados se obtuvieron de la comparativa del registro histórico de extracción en la zona comprendida por el acuífero Cuautitlán-Pachuca, y con base en lo publicado por el Diario Oficial de la Federación, 2009. Para el volumen de recarga se consideraron valores calculados con base en las precipitaciones históricas y mediciones de la CONAGUA; y con lo publicado en el DOF (2009). Para el consumo de agua en la agricultura, se tomaron valores de registros históricos publicados por la CONAGUA (CONAGUA, 2011). El número de usuarios con pozo de agua para los dos periodos considerados fueron obtenidos de registros históricos del CEEA y CONAGUA. En cuanto a la calidad química del agua, se tomaron las concentraciones de sólidos totales con base en estudios realizados por la CONAGUA (2011). El cambio de uso de suelo presentó una variación en la superficie promedio de $10 \text{ ha}\cdot\text{año}^{-1}$ en el primer periodo analizado y $40 \text{ ha}\cdot\text{año}^{-1}$ en el segundo, lo anterior según datos históricos registrados en los planes de desarrollo del Estado de México y de Hidalgo. El costo de reúso de agua consideró un costo de $\$5/\text{L}$ y $\$2/\text{L}$ para cada sistema respectivamente con base en lo presentado por Escalante et al., (2003). En cuanto a los costos de extracción, se consideró un valor de $\$0.8 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$ y de $\$2.5 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$ de acuerdo a registros históricos de la CFE. En referencia a la disponibilidad de agua, se tomaron valores con base en cálculos según la metodología de la NOM-011 y registros históricos de la CONAGUA. Los valores considerados en la evolución del nivel estático, fueron obtenidos mediante mediciones en campo y registros históricos del organismo de cuenca del Valle de México. En cuanto al consumo per cápita, se tomaron valores promedio de consumo durante los dos periodos analizados obtenidos con base en lo publicado por la UNESCO (2003). El valor económico del agua subterránea se obtuvo mediante estimaciones, tomando como base las cuotas de agua potable. Para determinar el grado de participación de los usuarios en la toma de decisiones, se tomó como base el COTAS del acuífero. Finalmente para el índice de desarrollo humano se consideró un grado de 40 % y 86 % para cada periodo respectivamente (CONAGUA, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en el Cuadro 2, para el caso del volumen de extracción en el sistema de referencia se encontró por debajo del límite máximo de extracción calculado ($400 \text{ hm}^3\cdot\text{año}^{-1}$), es decir, se explotó en un 50 % ($200 \text{ hm}^3\cdot\text{año}^{-1}$); y el sistema alternativo sobrepasó en un 20.75 % las capacidades de sustentabilidad del acuífero, lo que implica que las condiciones del sistema de referencia eran más controladas, tal vez debido a la menor población y demanda de agua. El volumen de recarga, al igual que en el caso anterior en el sistema de referencia se acercaba hasta en 88.8 % al óptimo; sin embargo para el alternativo se perdió hasta en 45 % la capacidad de recarga, ocasionado por el crecimiento de la mancha urbana y al cambio de uso de suelo que ha mermado la capacidad del suelo de infiltrar el agua. Para el

and CONAGUA historical records. Regarding the chemical quality of the water, total solids concentrations were based on studies by CONAGUA (2011). Land-use change had a $10 \text{ ha}\cdot\text{year}^{-1}$ variation in average area in the first analyzed period and a $40 \text{ ha}\cdot\text{year}^{-1}$ variation in the second; the above information is based on historical data recorded in the development plans of the States of México and Hidalgo. Water re-use cost was taken as $\$ 5\cdot\text{L}^{-1}$ and $\$ 2\cdot\text{L}^{-1}$ for each system, respectively, based on information presented by Escalante et al. (2003). For extraction costs, values of $\$0.8$ and $\$2.5$ per $\text{kW}\cdot\text{h}^{-1}$ were considered according to CFE historical records. Water availability values were based on estimates according to the methodology of NOM-011 and CONAGUA historical records. Values considered in the evolution of the static level were obtained by direct field measurements and historical records from the Valley of Mexico watershed agency. For per capita consumption, average values were taken for the two analyzed periods, based on information published by UNESCO (2003). Groundwater economic value was obtained through estimates, based on potable water rates. The degree of user participation in decision-making was determined based on the aquifer COTAS. Finally, for the Human Development Index, levels of 40 % and 86 % were considered for each period, respectively (CONAGUA, 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

Based on Table 2, for the case of extraction volume in the reference system, it was found below the estimated maximum extraction limit ($400 \text{ hm}^3\cdot\text{year}^{-1}$), that is, it was exploited at 50 % ($200 \text{ hm}^3\cdot\text{year}^{-1}$), while the alternative system exceeded the aquifer's sustainability capacity by 20.75 %, implying that the conditions of the reference system were more controlled, perhaps because of the lower population and water demand. Recharge volume, as in the previous case, was as high as 88.8 % of the optimum in the reference system; however, for the alternative system, up to 45 % of the recharge capacity was lost due to urban expansion and land-use change, diminishing the ground's ability to infiltrate water. For water consumption in agriculture, in the reference system it was already near the maximum annual volume allocated to that category (40 to $55.91 \text{ hm}^3\cdot\text{year}^{-1}$); however, for the alternative system the volume exceeded that limit, compromising the aquifer's sustainability. Regarding the number of users who have a well, it was observed that the number of wells in the reference system was close to the ideal for the aquifer; however, in the alternative system the number increased to 867 wells, exceeding the optimal number to provide water to the various sectors. Regarding water chemical quality, the reference system had a lower average total solids concentration; however, the quality declined in the alternative system, causing the aquifer water to have a high presence of total solids. For land-use change, it was observed that the reference system had a value closer to the optimum value; however, in the last 20 years, there was an accelerated increase leading it away from the

caso del consumo de agua en la agricultura, en el sistema de referencia ya se encontraba cerca del volumen máximo por año destinado para ese rubro (40 de $55.91 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$), sin embargo, para el sistema alternativo se sobrepasó ese límite comprometiendo la sostenibilidad del acuífero. En cuanto al número de usuarios que cuentan con pozo de agua, se pudo observar que el sistema de referencia estaba cerca de un número de pozos ideal para el acuífero, sin embargo, en el sistema alternativo se presentó un incremento hasta llegar a 867 pozos, los cuales sobrepasan el número óptimo para proveer agua a los distintos sectores. En el aspecto de calidad química del agua, en el sistema de referencia se contaba con una menor concentración promedio de sólidos totales; sin embargo, disminuyó su calidad en el sistema alternativo, haciendo que las aguas pertenecientes al acuífero tengan una alta presencia de sólidos totales. En el caso del cambio de uso de suelo, se observó que en el sistema de referencia se tenía un valor cercano al óptimo, sin embargo debido a factores como el crecimiento demográfico principalmente, en los últimos 20 años se presentó un aumento acelerado en este rubro, alejándose del valor de equilibrio hasta en un 80 %. Para el costo de reúso del agua, en el sistema alternativo se observó que en los últimos 20 años se han hecho esfuerzos por hacer rentable el reúso de agua como una alternativa para ahorrar, ya que de acuerdo a la Figura 2 este indicador se acerca hasta en un 50 % al valor óptimo, mientras que en el sistema de referencia se tuvo tan solo un 15 %, lo que permite decir que en la actualidad este indicador económico tiene una tendencia hacia la sustentabilidad. Los costos de extracción en los últimos 40 años han variado considerablemente y de acuerdo a la Figura 2 se observó que en el sistema de referencia se registró un valor muy cercano al óptimo, para el caso del sistema alternativo, se encontró que el costo sobrepasó en 75 % el valor óptimo, esto debido al aumento en las tarifas eléctricas y al hecho de que se esté extrayendo en la actualidad un mayor volumen de agua que hace 40 años. En el caso de la disponibilidad se observa una diferencia marcada entre los dos sistemas, ya que mientras en el de referencia se estaba por encima del óptimo, en el alternativo la disponibilidad fue nula, lo que convierte a este indicador ambiental en un problema grave para la sustentabilidad y equilibrio del acuífero. En cuanto a la evolución del nivel estático se encontró que la variación entre los sistemas de referencia y alternativo fue mínima, siendo el sistema de referencia, el que presentó un valor más cercano al óptimo con un 70 %, mientras que el sistema alternativo tuvo una disminución a 58 %, lo cual aún representa un problema para el acuífero, ya que el nivel estático disminuye en el orden de $1.5 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$ (CEAA, 2009). Para los casos del consumo per cápita, valor económico del agua, participación de usuarios en toma de decisiones e índice de desarrollo humano; el sistema alternativo mostró un avance firme del acuífero Cuautitlán-Pachuca hacia el equilibrio, equidad y sustentabilidad, lo cual puede deberse a la evolución en cuestiones de cultura y bienestar social que se han incrementado a la par del desarrollo del país.

equilibrium value by as much as 80 %, mainly because of factors such as population growth. For water re-use cost, in the alternative system it was observed that for the last 20 years efforts for making water re-use profitable as a savings alternative have been made, since, according to Figure 2, this indicator is close to 50 % of the optimal value, whilst in the reference period it only goes up to 15 %, which allows saying that, currently, this economic indicator has a trend towards sustainability. Extraction costs in the past 40 years have varied considerably and, based on Figure 2, a value very close to the optimum was recorded in the reference system; for the alternative system, it was found that the cost exceeded the optimal value by 75 %, due to increased electricity rates and to the fact that currently a greater volume of water is being extracted than 40 years ago. A marked difference is observed in water availability between the two systems, because while in the reference system this indicator was above the optimum, in the alternative system availability was zero, which turns this environmental indicator into a major problem for aquifer sustainability and balance. Regarding the evolution of the static level, it was found that the variation between the two systems was minimal, with the reference system presenting a value closer to the optimum with 70 %, whereas the alternative system decreased to 58 %, which still represents a problem for the aquifer, since the static level decreases on the order of $1.5 \text{ m} \cdot \text{year}^{-1}$ (CEAA, 2009). Regarding per capita consumption, the economic value of water, user participation in decision-making, and HDI, the alternative system showed a steady advance of the Cuautitlán-Pachuca aquifer towards balance, equity and sustainability, which may be due to evolution in cultural and social welfare matters that have increased at the same pace as the country's development. Nevertheless, it is important to note that over the course of time the economic and social indicators are those that have been developed towards sustainability in the alternative system, while the environmental indicators have exceeded the optimal values that would allow the aquifer to move towards balance.

CONCLUSIONS

The Cuautitlán-Pachuca aquifer had more balanced conditions during the reference system, because nine of the 14 analyzed indicators had a behavior very close to the optimal value, whilst in the alternative system, only five indicators showed trends towards sustainability. The aquifer is in critical condition; consequently, it is necessary to implement corrective measures, mainly in the indicators in which a greater distance was detected between the values found and the optimal values, since they are the ones that condition, to a greater or lesser extent, the recovery of the economic, environmental and social balance of the system. Finally, it can be concluded that the system requires new management and water use policies, a stricter law regarding pollution levels of discharged wastewater, and wastewater treatment systems for implementing an indu-

CUADRO 2. Valores óptimos y valores ponderados de los indicadores de sustentabilidad.

Atributo	Indicador y unidades	Criterio para el óptimo	Valor óptimo 100 %	Sistema 1970-1990	Sistema 1991-2010
Productividad	1) Volumen de extracción (hm ³ ·año ⁻¹) (A)	Volumen máximo de extracción	400	200 (50 %)	483 (20.75 %)
	2) Volumen de recarga(hm ³ ·año ⁻¹) (A)	Volumen mínimo de recarga	450	400 (88.88 %)	203 (45.11 %)
	3) Consumo de agua en la agricultura (hm ³ ·año ⁻¹) (E)	Volumen máximo para uso en agricultura	55.91	40 (71.54 %)	60 (7.32 %)
	4) Número de usuarios con pozo de agua de acuerdo a su uso (No) (S)	Número ideal de pozos de extracción	694	600 (86.45 %)	867 (24.93 %)
	5) Calidad química de agua (mg·L ⁻¹) (A)	Grado de contaminación de las aguas (ST)	800	1000 (75 %)	1500 (12.5 %)
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	6) Cambio de uso de suelo (hm ³ ·año ⁻¹) (A)	Número máximo de ha cambiadas de uso de suelo	50	10 (80 %)	40 (20 %)
	7) Costos de reúso del agua (\$·L ⁻¹) (E)	Costo máximo de reúso de agua	1	5 (15 %)	2 (50 %)
	8) Costos de extracción (\$/KWH) (E)	Costo kWh	1	0.8 (80 %)	2.5 (25 %)
Adaptabilidad	9) Disponibilidad (hm ³ ·año ⁻¹) (A)	Volumen máximo disponible	50	100 (100 %)	0 (0 %)
	10) Evolución del nivel estático (m·año ⁻¹) (A)	Grado máximo de abatimiento	0.5	1.5 (70 %)	2.1 (58 %)
	11) Consumo per cápita (L·persona ⁻¹ ·año) (E)	Consumo máximo de agua por persona	36500	18250 (50 %)	32850 (90 %)
Equidad	12) Valor económico del agua subterránea (\$·m ⁻³) (E)	Costo por m ³ de agua subterránea	12	1 (8.33 %)	11 (91.66 %)
	13) Participación de usuarios en toma de decisiones (%) (S)	Porcentaje de usuarios que participen en toma de decisiones	100	30 (30 %)	90 (90 %)
Autogestión	14) Índice de desarrollo humano (%) (S)	Porcentaje de incremento de bienes para mejora de vida	100	40(40 %)	86 (86 %)

(A): Indicador Ambiental; (E): Económico y (S): Social.

TABLE 2. Optimal and weighted values for the sustainability indicators.

Attribute	Indicator and units	Optimal criterium	100 % optimal value	1970-1990 system	1991-2010 system
Productivity	1) Extraction volume (hm ³ ·year ⁻¹) (En)	Maximum extraction volume	400	200 (50 %)	483 (20.75 %)
	2) Recharge volume (hm ³ ·year ⁻¹) (En)	Minimum recharge volume	450	400 (88.88 %)	203 (45.11 %)
	3) Agricultural water consumption (hm ³ ·year ⁻¹) (E)	Maximum volume for agricultural use	55.91	40 (71.54 %)	60 (7.32 %)
	4) Number of well users according to use (No) (S)	Ideal number of extraction wells	694	600 (86.45 %)	867 (24.93 %)
	5) Water chemical quality (mg·L ⁻¹) (En)	Degree of water pollution (TS)	800	1000 (75 %)	1500 (12.5 %)
Stability, resilience and reliability	6) Land-use change (ha·year ⁻¹) (En)	Maximum number of hectares with land-use change	50	10 (80 %)	40 (20 %)
	7) Water re-use costs (\$·L ⁻¹) (E)	Maximum water re-use cost	1	5 (15 %)	2 (50 %)
	8) Extraction costs (\$ kW·h ⁻¹) (E)	kW-h cost	1	0.8 (80 %)	2.5 (25 %)
Adaptability	9) Availability (hm ³ ·year ⁻¹) (En)	Maximum available volume	50	100 (100 %)	0 (0 %)
	10) Evolution of the static level (m·year ⁻¹) (En)	Maximum abatement degree	0.5	1.5 (70 %)	2.1 (58 %)
Equity	11) Per capita consumption (L·person ⁻¹ ·year ⁻¹) (E)	Maximum water consumption per person	36500	18250 (50 %)	32850 (90 %)
	12) Groundwater economic value (\$·m ⁻³) (E)	Groundwater cost per m ³	12	1 (8.33 %)	11 (91.66 %)
Self-management	13) User participation in decision-making (%) (S)	Percentage of users participating in decision-making	100	30 (30 %)	90 (90 %)
	14) Human Development Index (%) (S)	Percentage increase in assets for life improvement	100	40 (40 %)	86 (86 %)

(En): Environmental, (E): Economic, and (S): Social indicators.

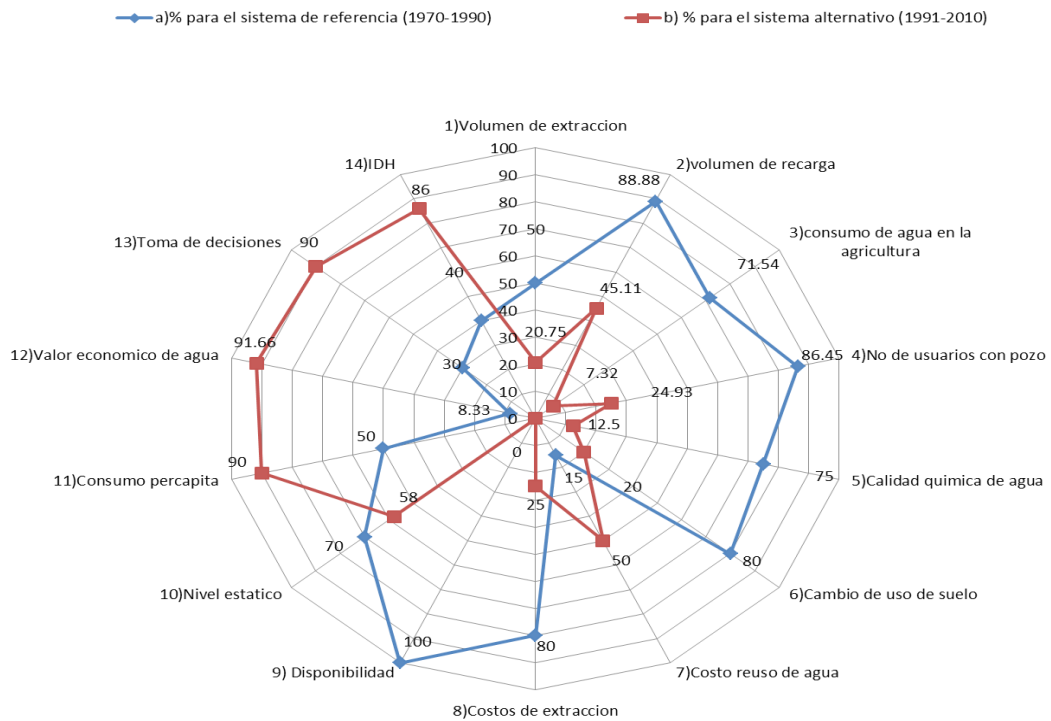


FIGURA 2. Gráfica de sustentabilidad del acuífero que indica los porcentajes de los indicadores más cercanos al 100 % como los más sustentables.

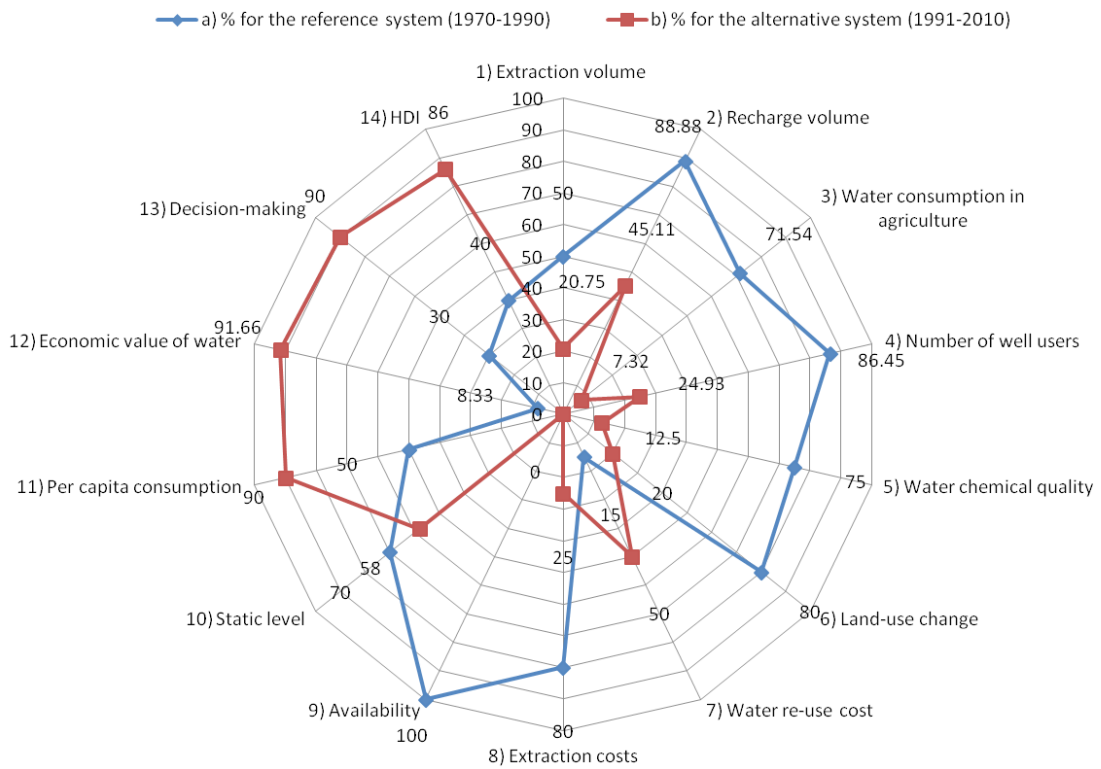


FIGURE 2. Aquifer sustainability graph showing the indicator percentages closest to 100 %, representing the most sustainable.

Sin embargo es importante notar que con el pasar de los años los indicadores económicos y sociales sean los que se han desarrollado hacia la sustentabilidad en el sistema alternativo, mientras que los indicadores ambientales sobrepasaron los valores óptimos que permitirían un acuífero con tendencias hacia el equilibrio.

CONCLUSIONES

Se puede decir que el acuífero Cuautitlán-Pachuca presentaba condiciones de más equilibrio durante el sistema de referencia, debido a que 9 de los 14 indicadores analizados tuvieron un comportamiento muy cercano al valor óptimo, mientras que en sistema alternativo, solo 5 indicadores presentaron tendencias hacia la sustentabilidad. El acuífero se encuentra en un estado crítico, por lo que será necesario implementar medidas correctivas, principalmente en los indicadores que se detectó una mayor distancia entre los valores encontrados y los valores óptimos, ya que son los que condicionan en mayor o menor medida la recuperación del equilibrio económico, ambiental y social del sistema. Finalmente se puede concluir que el sistema requiere de nuevas políticas de gestión y uso de agua, una ley más estricta en cuanto a los niveles de contaminación de las aguas residuales vertidas y sistemas de tratamiento de las mismas para implementar un programa de recarga inducida del acuífero. Asimismo, sería de gran valor el promover el desarrollo de obras de conservación de suelo y agua, en zonas de alta permeabilidad dentro del acuífero, lo que facilitaría la retención e infiltración de agua, y por último concientizar al usuario para erradicar el desperdicio.

REFERENCIAS

- Achkar, M., Canton, V., Cayssials, R., Domínguez, A., Fernández, G. y Pesce, F. (2005). Ordenamiento Ambiental del Territorio. Comisión Sectorial de Educación Permanente. Montevideo. DIRAC: Facultad de Ciencias. Comisión Estatal del Agua y Alcantarillado (CEAA). (2009). Estudio Geohidrológico del valle Pachuca - Tizayuca. Informe Técnico. Hidalgo. Gobierno del Estado de Hidalgo.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2010). Tarifas eléctricas domésticas de alto consumo (DAC) y agrícolas. Consultado 22 de agosto de 2011. <http://www.cfe.gob.mx>
- Comisión Nacional del Agua. (2011). Estadísticas del Agua en México (EAM). Obtenido de <http://semarnat.janium.net/janium/Documentos/218057.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2009). Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica Administrativa XIII, Aguas del Valle de México (EAVM). Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/OCAVM-1-EAOCVM2009.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (DOF), (2009). Acuerdo por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos ced recharge program for the program. It would also be of great value to promote the development of soil and water conservation works, in high permeability zones within the aquifer, which would facilitate water retention and infiltration, and finally raise awareness among users of the need to eliminate waste.

End of English Version

del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos. México, D.F.

- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín C., y Villavicencio, F. (2003). Valoración de Mercado para el Reuso del Agua Residual Tratada. Informe final. Proyecto realizado por el IMTA para la CONAGUA. (pp. 230-236). Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/reus.pdf>
- Galindo Castillo E., Otazo Sánchez E. Ma., Reyes Gutiérrez L. R., Arellano Islas S. M., Gordillo Martínez A., González Ramírez C. A. (2010). Balance hídrico y afectaciones a la recarga para el año 2021 en el acuífero Cuautitlán-Pachuca. GeoFocus (Informes y comentarios), n° 10, p. 65-90.
- Kemper, K. (2002). Formal Water Markets: Why, When, and How to Introduce Tradable Water Rights. Oxford, England. Oxford University Press.
- Massera, O., Astier, M y López-Ridaura, S. (1999). Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El Marco de Evaluación MESMIS. México D.F. Mundiprensa - GIRA - UNAM.
- McDonald M.G. y Harbaugh, A.W., 1988. A modular threedimensional finite-difference groundwater flow model: U.S. Geological Survey, Techniques of Water Resources Investigations, Book 6. Washington DC
- NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-011-CONAGUA-2000. Conservación del Recurso Agua que Establece las Especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales.
- NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2003). Agua para Todos, Agua para Vida: Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo Hídrico en el Mundo. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>
- Plan Nacional de Desarrollo (PND) (2007). Plan Nacional de Desarrollo 2007- 2012. Consultado 10 de junio de 2011 <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/>
- Sandoval, R. (2004). A participatory approach to integrated aquifer management: The case of Guanajuato State, México. Hydrogeology J., 12(1): 6-10.