

COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE AGUASCALIENTES: EVALUACIÓN DE LA RECARGA NATURAL

Lilia Guerrero Martínez¹
Martín Hernández Marín²

Resumen

En la presente investigación se analizan y evalúan las posibles zonas de recarga dentro del valle de Aguascalientes por medio del método Water Table Fluctuations (WTF), en el cual se estima la recarga en relación al rendimiento específico (Sy) del acuífero y el diferencial de altura del nivel estático para un lapso de tiempo determinado. Para la obtención de información se consultaron secretarías del Estado tales como PROACTIVA Medio Ambiente CAASA y la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA Aguascalientes, las cuales proporcionaron información de niveles estáticos de 150 pozos a lo largo del Valle medidos durante el periodo 1985-2015. En relación a los valores de rendimiento específico que se obtuvo de dos trabajos previos, se integró un mapa final de su variación en la zona de estudio. Los resultados de magnitudes de recarga indican que ésta es cambiante en el área de estudio, resultando en valores que varían entre 0.09 mm/año a 52.5 mm/año en el periodo de estudio.

Palabras clave: *Recarga, Valle de Aguascalientes, Zonas áridas y semiáridas, Método Water Table Fluctuations (WTF), Rendimiento específico.*

Abstract

In this investigation the potential recharge areas within the valley of Aguascalientes are analyzed and evaluated. The method used was the

1 Universidad Autónoma de Aguascalientes, 120505@edu.uaa.mx.

2 Universidad Autónoma de Aguascalientes, mhernandez@edu.uaa.mx.

called Water Table Fluctuations (WTF), in which recharge is evaluated in relation to the specific yield (Sy) of the aquifer and the differential height of the static level of the aquifer over a specific time. Groundwater levels were provided by government agencies such as PROACTIVA medio Ambiente CAASA and the CONAGUA. These offices provided information on static levels of 150 wells along the Valle and measured during the period 1985-2015. In relation to the values of specific yield, obtained from two previous works, a final map of its variation was integrated in the study area. Quantitative results indicate that recharge is variable in the study area, resulting in values ranging from 0.09 mm/year to 52.5 mm/year in the study period.

Keywords: *Recharge, Valley of Aguascalientes, arid and semi-arid zones, Method water table fluctuations (WTF), Specific yield.*

Introducción

A lo largo de la historia, el hombre ha tenido que enfrentarse a la complicación de la obtención del agua, debido a la importancia que representa para el desarrollo de actividades cotidianas. Durante mucho tiempo se pensó en el agua como un recurso inagotable, por la facilidad con la que se encontraba de manera superficial o muy cerca de la superficie, pero con el paso del tiempo este recurso se ha reducido, lo que provocó la extracción de agua del subsuelo a mayores profundidades, creando técnicas para excavar pozos y abastecerse del agua que se obtenía de él. En particular en el Estado de Aguascalientes, debido al incremento en la demanda de agua por el aumento de la población, desde hace algunos años el acuífero se encuentra en condición de sobreexplotación (CONAGUA, 1997). Algunos de los principales problemas directamente asociados a la sobreexplotación actual del acuífero son la presencia de metales pesados y agrietamiento del suelo. Para el 2011 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011), menciona que el 94% del agua utilizada en Aguascalientes proviene de fuentes subterráneas.

Con base en estos antecedentes, es preciso conocer el potencial de recarga de aguas subterráneas, y entender mejor el proceso de recarga en el Valle de Aguascalientes, por lo que la presente investigación plantea la aplicación de un análisis cuantitativo de recarga natural vertical por medio de la variación de niveles de agua subterránea y datos de precipitación, empleando información de las propiedades del suelo y de los niveles estáticos de los pozos profundos del Valle de Aguascalientes, identificando las zonas dentro del valle que mejor permiten recarga natural. El método empleado dentro de la investigación para estar al tanto de la recarga, es el método "Water Table Fluctuations (WTF)", que se basa en las variaciones de los niveles estáticos del valle y el valor del rendimiento específico del

acuífero. Dicho análisis relaciona estos factores en un lapso de tiempo determinado, que para el área de estudio, se estableció un lapso de 30 años (1985-2015), periodo en el cual se analizaron datos de niveles estáticos de 150 pozos. De esta manera se establece el objetivo general de la investigación, el cual consiste en aplicar el método WTF para cuantificar las alturas de recarga del acuífero del valle de Aguascalientes e identificar las zonas con mayor potencial, a partir datos de niveles de agua subterránea en pozos de extracción, mapas de zonificación del rendimiento específico del acuífero y representaciones cartográficas y de evolución piezométrica de los niveles estáticos.

Área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca del valle de Aguascalientes y abarca sólo la parte dentro del estado, como se muestra en la figura 1. Ocupando una franja con orientación Norte-Sur de 80 km de longitud y 25 km de ancho aproximadamente. Según (CONAGUA, 2012) el 68% del territorio de Aguascalientes es árido o semiárido, por lo que el clima predominante en el valle se clasifica como semiseco con una temperatura máxima promedio de 25 °C. La precipitación pluvial media es de 526 mm y evaporación media anual es de 2,200 mm. El periodo de lluvias corresponde al verano; en las otras estaciones del año las lluvias que se registran son de baja intensidad. En cuanto a la geomorfología, se tiene una configuración plana con suaves lomeríos dispersos en algunas áreas, y pendientes que crecen hacia las sierras; se encuentra localizado entre la Sierra de Tepezalá y la Sierra Fría. La altitud promedio del Valle de Aguascalientes es de 1,900 msnm. El valle abarca dos provincias fisiográficas importantes, al oriente queda incluido dentro de la Mesa Central, mientras que al occidente pertenece a las colinas de la Sierra Madre Occidental. La Sierra Madre Occidental en la parte proporcional al valle está constituida por valles y sierras alargadas de orientación NW-SE, y NE-SW, la cual se localiza en general dentro de los municipios de Calvillo y San José de Gracia, en esta zona no hay una predominancia de grandes mesetas y cañones; en su lugar hay sierras, y rellenos por materiales aluviales y fluviales principalmente. De acuerdo con UNAM-UAQ, (2009) la secuencia geológica del valle de Aguascalientes está conformada en su parte superior por rocas sedimentarias detríticas formadas a partir de materiales aluviales, no consolidados y por su granulometría son del tipo gravas, arenas, limos y arcillas. Esta agrupación de sedimentos conforma capas o estratos mezclados de geometría variable, cuyo espesor varía desde unos cuantos metros en los límites del valle, hasta 200 metros en el centro del mismo. Debajo de los sedimentos aluviales existen conglomerados compactados y rocas ígneas fracturadas; por lo que su permeabilidad está determinada

por fracturamiento y no por porosidad. En conjunto los conglomerados y las rocas ígneas tienen espesores aproximados de 200 a 300 metros y constituyen la parte inferior del acuífero. El valle de Aguascalientes está situado en un graben tectónico tal como lo mencionan Pacheco *et al.* (2013), quienes además hacen la referencia que dentro de éste, se muestra una tendencia de fallas normales.

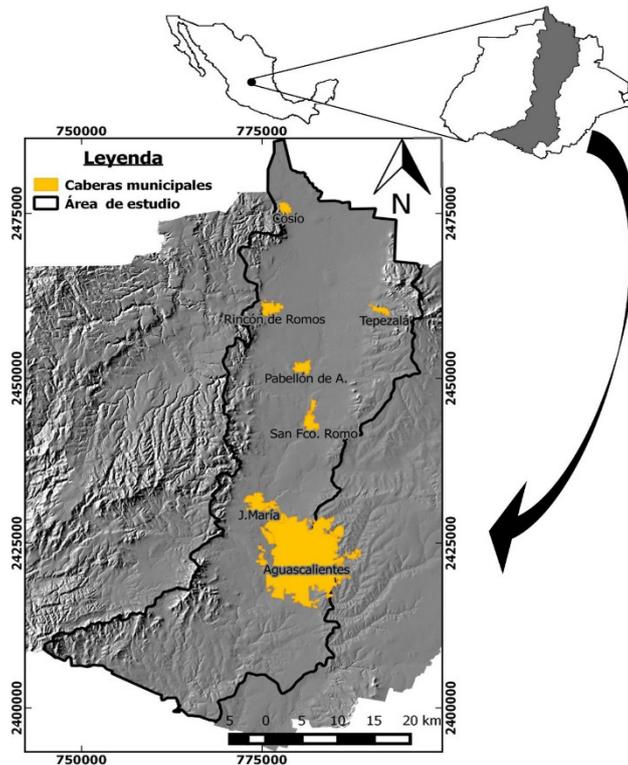


Figura 1. Localización del área de estudio. Se indican las cabeceras municipales del estado de Aguascalientes. Sistema de coordenadas: UTM (m), WGS84, Zona 13 Norte.

Metodología

Los métodos para determinar la recarga se clasifican en 5 grupos: (Vélez Otálvaro, 2004), Medidas directas, Balance hídrico, Trazadores, Aproximaciones de Darcy y Métodos Empíricos.

Debido a que el desarrollo de esta investigación es parte de un estudio integral del valle de Aguascalientes y básicamente se enfoca en el análisis y la cuantificación de la recarga en esta zona, se optó por desarrollar el método de balance hídrico.

Método aplicado

El método más utilizado del balance hídrico es el desarrollado por Healy y Cook en 2002 que presenta una excelente revisión de la teoría y de la aplicación. Tomando como referencia este dato, el desarrollo de esta investigación se basó en las especificaciones de estos autores donde explican que los cambios en el almacenamiento de agua subterránea de una cuenca pueden ser atribuidos a la recarga y al flujo de agua subterránea en el caudal base; sustentado en que los niveles de agua subterránea son el único resultado directamente medible. La expresión empleada para las variaciones de los niveles de agua subterránea en los acuíferos no confinados debido a la recarga, es la siguiente:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

En donde S_y representa el rendimiento específico según el tipo de suelo, h , las variaciones de la altura del nivel freático en la zona de estudio y t las variaciones en un lapso de tiempo determinado.

La derivación de la ecuación asume que el agua que llega al nivel freático va inmediatamente al almacenamiento y que todos los otros componentes tales como bombeos, presión barométrica, espesor de la zona saturada, etc., son cero durante el período de recarga. En la figura 2 se muestra el cambio del nivel freático (Δh) que se establece igual a la diferencia entre el pico de aumento y punto más bajo de la curva de recesión de la lluvia. Si los registros hidrográficos a largo plazo están disponibles, deben existir muchas curvas de recesión para modelar los datos.

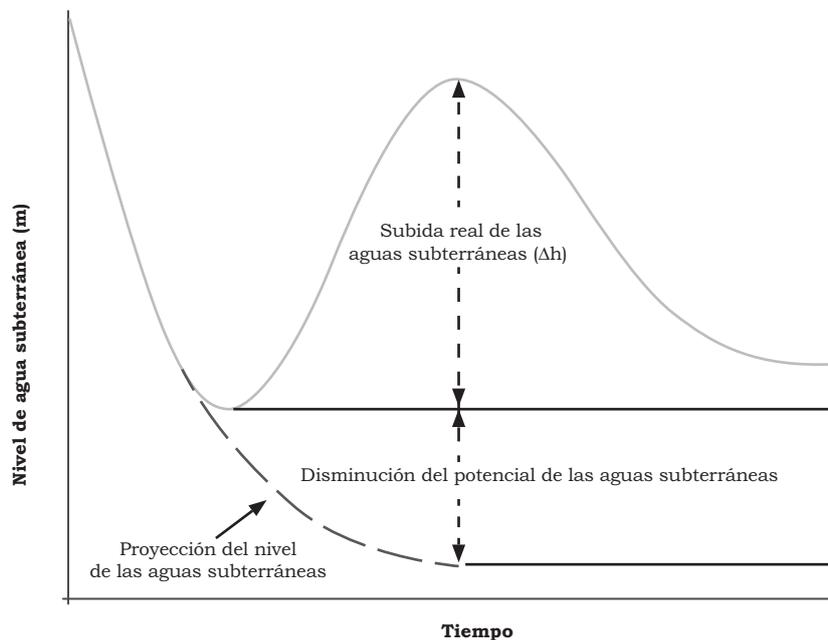


Figura 2. Curva de disminución de potencial del agua subterránea (línea discontinua), resultante de la recarga de acuíferos no confinados (línea continua). Modificada de Healy y Cook (2002).

Es importante mencionar que el método Water Table Fluctuations es un método complementario dentro de un estudio integral del valle de Aguascalientes por lo que la comparación con diferentes métodos para determinar la recarga es recomendable. Hay que tener en cuenta que siempre que sea posible se debe utilizar más de un método. La utilización paralela de al menos dos enfoques conceptualmente diferentes ha sido recomendada para permitir la comprobación cruzada de los resultados y establecer su credibilidad (Risser, *et al.*, 2009, p.295; Healy y Cook, 2002, p.107; Scanlon, *et al.*, 2002, p.37) debido a que estos métodos han sido adaptados para diferentes condiciones hidrogeológicas y climáticas para cumplir con diferentes propósitos, por lo que a menudo son difíciles de comparar, especialmente con respecto a las escalas espaciales y temporales (Risser, *et al.*, 2009, p.295; De Vries & Simmers, 2002, p.15).

Como ya se mencionó, lo práctico del método WTF radica en su simplicidad y facilidad de aplicación. No se hacen suposiciones sobre los mecanismos por los que el agua se desplaza a través de la zona no saturada; por lo tanto, la presencia de flujo tiene trayectoria preferencial dentro esta zona ya que no restringe en absoluto su aplicación. Además es una excelente opción para determinar la estimación de recarga espacialmente distribuida de las aguas subterráneas en enfoques regionales. Las estimaciones de la recarga derivadas sólo del método WTF no son adecuadas; sin

embargo, para la estimación de recarga a escala regional sí lo son debido a su fuerte dependencia a datos locales. La aplicabilidad está limitada únicamente a condiciones muy específicas de la zona de estudio, y su sensibilidad a la influencia de la recarga de los niveles (Jie, *et al.*, 2011, p.1500). A continuación se describen los parámetros fundamentales para la aplicación del método WTF.

Parámetro Rendimiento específico (Sy)

Sy es un parámetro fundamental en el método WTF, se define como la relación entre el volumen de agua que sale de una roca saturada debido a la gravedad y al volumen total de la roca (Fetter, 2001, p. 78). No obstante, esta definición sólo es válida bajo condiciones de equilibrio y de experimentos en pequeña escala, y no es directamente aplicable o útil en estudios de campo que requieren la consideración de numerosos factores, como la porosidad media, la profundidad del nivel freático, el drenaje, la duración, condiciones de humedad y otras variables que raramente están disponibles; por lo tanto la liberación no es instantánea, lo que significa que el agua puede tomar un tiempo excepcionalmente largo en llegar al nivel freático, especialmente para granos finos o bien sedimentados (King, 1899, p.102). Existen varios métodos para medir valores de Sy, tales como métodos de laboratorio, de campo, empíricos, etc. Sin embargo, todos ellos tienen un grado de incertidumbre asociada. Comúnmente, Sy se fija en un valor constante, aunque en realidad como se mencionó varía en función de diferentes parámetros (Childs, 1960, p. 781). Dentro del método de Harley y Cook el rendimiento específico es tratado como un término de almacenamiento independiente del tiempo, que en teoría explica la liberación instantánea de agua almacenada.

Para la determinación del rendimiento específico Sy en la aplicación del método Water Table Fluctuations WTF de este estudio, se realizó una investigación sobre la obtención del parámetro Sy dentro de valle, para después realizar un mapa de zonificación del conjunto de información obtenida. Se tomaron como referencia dos documentos:

- El estudio integral de la problemática del agua, subsidencia y sismicidad en el Valle de Aguascalientes realizado en 2002 (UNAM-UAG, 2002).
- Un reporte realizado en 2009 por la Universidad Nacional Autónoma de México para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) llamado: “Definición del Flujo Regional de Agua Subterránea, su Potencialidad y Uso en la Zona de la Ciudad de Aguascalientes”.

Del primer estudio, se tomaron en cuenta características hidráulicas como la conductividad hidráulica, tipo de material y rendimiento específico, este último por medio de una modelación en el programa Visual-Modflow, en el que se pudo establecer un mapa de zonificación del rendimiento específico S_y , bajo un proceso de calibración que consistió en lograr que el modelo matemático simule las condiciones actuales y proporcione las curvas equipotenciales correspondientes al año 1996. Para realizar este ajuste se analizaron un total de 160 pozos. Los valores obtenidos del estudio se muestran a continuación:

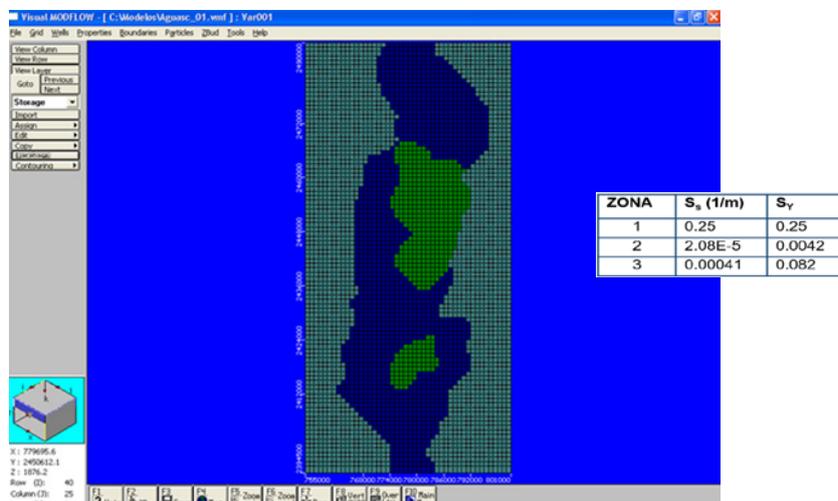


Figura 3. “Valores de coeficiente de almacenamiento, por zona”. En ella se expresan valores de rendimiento específico S_y dentro del Valle. Tomada de (UNAM-UAQ, 2002).

En cuanto al reporte de CONAGUA “Definición del Flujo Regional de Agua Subterránea, su Potencialidad y Uso en la Zona de la Ciudad de Aguascalientes” se analizaron 11 pozos al norte del Valle a través de pruebas de bombeo realizadas que permitieron la estimación del rendimiento específico. S_y fue determinado utilizando los datos de pruebas de bombeo. Los ensayos de bombeo fueron realizados durante periodos que variaban de horas hasta días, comúnmente utilizados para obtener S_y y proporcionar mediciones *in situ* que están integrados sobre grandes áreas. Las curvas de abatimiento versus tiempo en los datos de los pozos de observación se comparan con las curvas de tipo teórico desarrollado por Boulton (1963, p. 475), Neuman y Witherspoon (1972, p. 1088) y Moench (1995, p. 594) para calcular S_y . Los valores se muestran a continuación.

Pozo	Q (m ³ /d)	Rp (m)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	B (m)	Sc	Sy	Pp	Medio
Morelos 4	3374.8	0.156	50.000	68	22	0.0006	0.01	11.1	Riolita
Morelos 5	3939.8	0.165	1.200	100	204	0.0001	0.01	10	Riolita
Morelos 6	1987.2	0.16	1.200	100	341	0.00001	0.01	12	Riolita
Saucillo	475.2	0.15	7.000	0.4	166	0.0007	0.1	9	Granular
Alamitos	388.8	0.152	2.000	0.15	105	0.0005	0.2	11	Granular
Fresnillo	604.8	0.15	11.000	0.2	5	0.0007	0.02	4	Granular
Polvo	561.6	0.15	0.500	0.05	145	0.0005	0.1	9	Granular
Clavelinas	302.4	0.15	0.042	0.042	227	0.001	0.15	8	Caliza
Águila	475.2	0.15	1.800	0.1	125	0.0006	0.1	11	Granular
Caldera	648	0.15	4.500	0.01	135	0.0006	0.3	10	Granular
La punta	345.6	0.15	0.033	100	170	0.004	0.08	9	Riolita

Figura 4. Valores de rendimiento específico Sy dentro del Valle. Tomada de (UNAM-UAQ, 2002).

Donde:

- Q Caudal de Extracción
- Rp Radio efectivo de pozo
- Kh Conductividad Hidráulica Horizontal
- Kv Conductividad Hidráulica Vertical
- b Espesor
- Sc Coeficiente de almacenamiento
- Sy Porosidad efectiva
- Pp Pérdidas en pozo

En este trabajo se tomó la porosidad efectiva como el rendimiento específico. Como lo expresa (Sánchez, 2014, p.4), el rendimiento específico es el volumen de agua drenada por gravedad del volumen total que también representa el volumen de los poros que se han vaciado. Por su parte, la porosidad efectiva se define como el volumen de huecos disponible para el flujo respecto del volumen total. Por lo que se consideran conceptos equivalentes.

En la figura 5 se muestra un mapa general de zonificación del rendimiento específico en donde se conjugan los resultados de los dos trabajos anteriores, para posteriormente aplicarlo dentro del WTF.

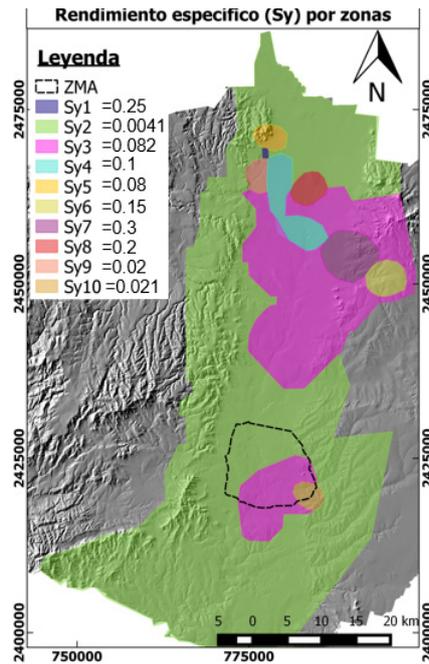


Figura 5. Rendimiento específico por zonas Sy1, Sy2 y Sy3 fueron tomados de UNAM-UAQ (2002). Lo valores Sy4, Sy5 y Sy6 Sy7, Sy8, Sy9 y Sy10 fueron tomados del reporte realizado por la UNAM para Conagua en 2009. ZMA = Zona Metropolitana de Aguascalientes

Datos del nivel freático

Para la obtención de los niveles freáticos se obtuvo y analizó información de dependencias estatales tales como PROACTIVA medio Ambiente CAASA y la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA Aguascalientes, las cuales proporcionaron información de los niveles estáticos de pozos a lo largo del Valle medidos durante el periodo 1968-2015; pero no todos los pozos tenían datos completos o consecutivos que pudieran utilizarse para la aplicación del método WTF, el cual se estableció de 1985 a 2015. Luego de la clasificación de los pozos se seleccionaron 150 pozos a los cuales se aplicó la metodología WTF.

Como ya se mencionó, los datos de varios pozos no estaban completos, por lo cual fue necesario aplicar métodos estadísticos para lograr completarlos y posteriormente aplicarlos. Se aplicaron 4 métodos estadísticos con la finalidad de determinar cuál era el más conveniente tomando en cuenta las variaciones de datos registrados. Los pozos con un mayor número de observaciones reales se realizaron a partir de regresión lineal tomando en cuenta como se mencionó, que tuvieran la mayor cantidad de los datos completos y que su coeficiente de correlación fuera mayor al

65%, por lo que se analizó pozo por pozo para encontrar las características antes mencionadas,

Los pozos que no fueron incluidos dentro del análisis de regresión se completaron a través de los siguientes métodos

- Método de promedios vecinales
- Método de razones promedio
- Método de correlación de estaciones vecinas

Ya con los datos completos de los 150 pozos se pudieron realizar mapas de niveles en el periodo de 30 años así como mapas de evolución piezométrica y de piezometría por medio del software Quantum GIS.

La Figura 6 muestra un mapa con la localización de los pozos analizados y de donde provienen, la mayor cantidad de pozos dentro de la zona metropolitana de Aguascalientes fueron aportados por PROACTIVA mientras que para el análisis de los niveles a escala regional se consideraron los aportados por la comisión nacional del agua.

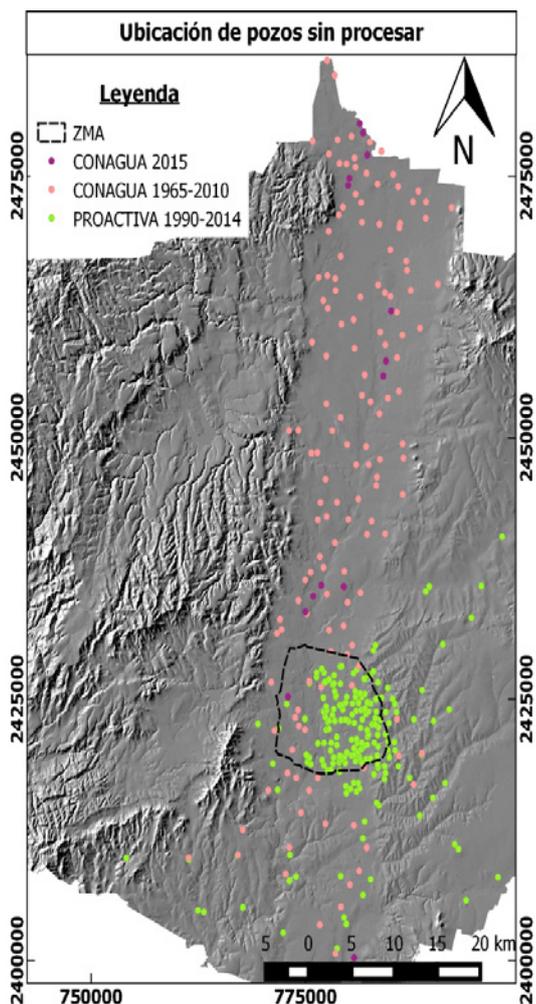


Figura 6. Ubicación de pozos sin procesar proporcionados por CONAGUA Aguascalientes y PROACTIVA Medio Ambiente CAASA. ZMA = Zona Metropolitana de Aguascalientes.

Resultados

Una vez obtenida y analizada la información, se generaron mapas de niveles estáticos representados en la Figura 7 y la evolución piezométrica de la cual se muestra un mapa en la Figura 8, estos mapas permiten dimensionar la variación de los niveles en el periodo de análisis, así como la aplicación de la metodología. La Figura 7 muestra profundidades del nivel alrededor de los 1740 para la zona metropolitana de Aguascalientes.

En lo que corresponde a la Figura 8, las mayores variaciones del nivel se encuentran al norte y centro del valle con valores de hasta 70m.

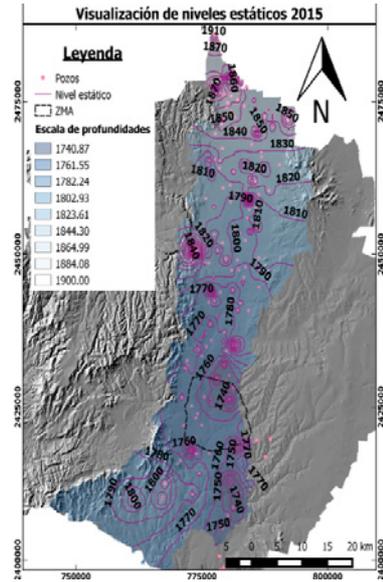


Figura 7. Ejemplo de Visualización del nivel para marzo de 2015.

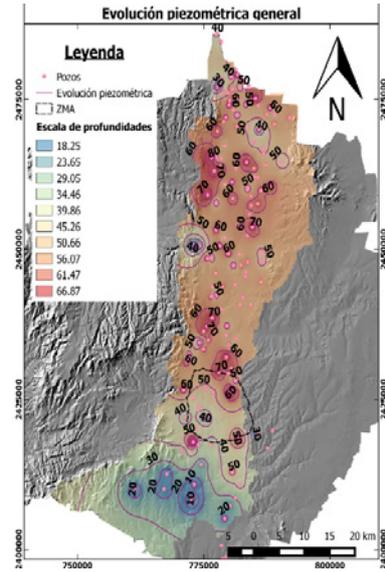


Figura 8. Evolución piezométrica del periodo 1985-2015.

A partir de la integración de rendimiento específico representado en la Figura 5 y los niveles piezométricos en el periodo de 1985 al 2015 se aplicó la ecuación 1, dando como resultado las variaciones de recarga dentro del valle de Aguascalientes, un fragmento de este cálculo se muestra en la Figura 9. Para tener una mejor visualización de las variaciones de la recarga y de la aplicación de la ecuación 1, se generó una representación cartográfica mostrada en la Figura 10, en la cual se observan zonas de recarga y descarga dentro del valle de Aguascalientes en un periodo de 30 años.

N° Pozo	Nombre	Municipio	Uso	X	Y	Nivel estático		Δh	Sy*	Recarga (mm/año)
						1985	2015			
10	LA PUNTA	COSIO	PUBLICO-URBANO	778877.86	2471298.47	1916.85	1859.12	57.73	0.08	15.40
17	EL SAUCILLO	RR*	AGRICOLA	778468.67	2465202.51	1889.51	1839.59	49.92	0.1	16.64
18	LA GARRIENTA	RR	AGRICOLA	781394.09	2463445.12	1890.20	1834.91	55.28	0.2	36.86
19	EL CHAYOTE	TEPEZALA	AGRICOLA	784890.32	2467962.98	1880.08	1834.71	45.37	0.0041	0.62
20	EJ. TANQUES	LOS RR*	AGRICOLA	779191.47	2460838.31	1869.85	1816.99	52.86	0.1	17.62
68	EMILIANO ZAPATA	PA*	PECUARIO	777341.83	2446021.31	1847.60	1790.69	56.90	0.082	15.55
83	BAJIO I	RR	AGRICOLA	777076.39	2463103.02	1881.68	1795.77	85.91	0.02	5.73
152	EJ. LA PUNTA	COSIO	AGRICOLA	777700.24	2469729.05	1910.35	1843.12	67.23	0.08	17.93
Máximo						1980.15	1968.96			52.57
Mínimo						1736.04	1697.40			0.09

Rincón de Romos = RR* Pabellón de Arteaga = PA* Rendimiento específico = Sy*

Figura 9. Tabla de resultados de la aplicación del método "Water Table Fluctuations". La diferencia de colores en la columna Sy está determinada bajo la localización del pozo sobre el mapa de rendimiento específico.

En la Figura 10, se observan las zonas con mayores valores de recarga ubicadas en el norte-centro del valle mientras que en los extremos norte y sur se presentan los valores más bajos.

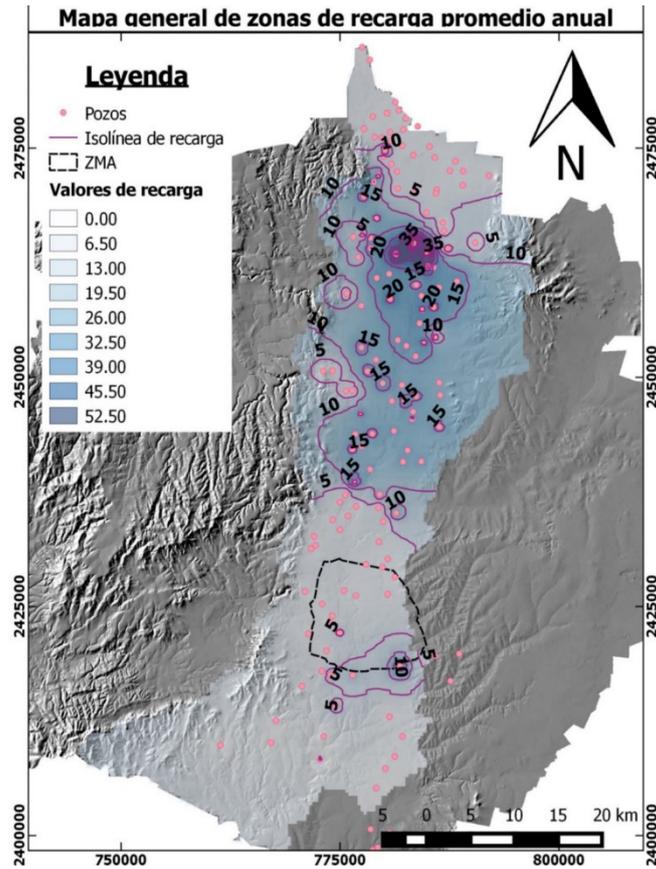


Figura 10. Mapa general de zonas de recarga evaluado por medio del método “Water Table Fluctuations” en el ciclo de 1985-2015. Las unidades en la escala de valores es mm/año. ZMA = Zona metropolitana de Aguascalientes.

Conclusiones

En este estudio se analizaron las posibles zonas de recarga dentro del valle de Aguascalientes por medio del método Water Table Fluctuations (WTF) y el análisis de 150 pozos seleccionados previamente. Como se muestra en la figura 10, las tasas de recarga de aguas subterráneas son mayores en la parte norte y centro del Valle (en Tepezalá). Este fenómeno puede ser atribuido a que antiguamente en esa zona se regaba por medio de canales, es decir, se extraía agua de la zona para riego, pero también debido al deficiente sistema de irrigación el agua se quedaba en el lugar lo que provocaba que Δh fuera mayor, aunque existen otros puntos con un valor de rendimiento específico mayor, en esta zona se presenta una mayor va-

riación de Δh y por lo tanto un mayor valor de recarga. La mayor altura de recarga que se obtuvo fue de 52.5 mm/año.

Las partes que cuentan con muy poca recarga son los extremos Norte y Sur del valle, así como la zona de la ciudad de Aguascalientes, estos valores bajos se atribuyen a fuertes bombeos lo que baja el nivel del agua y aumenta el espesor de la zona vadosa, así como a litologías de bajo rendimiento específico generando mucho mayor descarga que la recarga, con un valor mínimo de 0.09/año mm. Es importante mencionar que los resultados presentan similitud en volumen y espacio, con estudios previos

Referencias

- Boulton, N. S., 1963, Analysis of data from non-equilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 26(3), pp. 469-482.
- Childs, E., 1960. The nonsteady state of the water table in drained land. *Journal Geophys*, pp. 780-782.
- Comision Nacional del Agua (CONAGUA), 1997. Condicion actual del Acuífero del valle de Aguascalientes., Aguascalientes, disponible en <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/aguascalientes/ac.html>, (Acceso: 16 diciembre, 2020)
- Comision Nacional del Agua (CONAGUA), 2012. Atlas digital del agua 2012. Sistema Nacional de información del agua. Disponible en HYPERLINK <http://www.conagua.gob.mx> › Publicaciones › SGP-36-12. Acceso: 16 diciembre 2020).
- De Vries, J. & Simmers, I., 2002. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, pp. 5-17.
- Fetter, C. W., 2001. *Applied hydrogeology*. Cuarta edición, ed. Upper Saddle River, New Jersey Prentice Hall, Wisconsin, pp. 588
- Healy, R.W., Cook, P.G., 2002, Using groundwater levels to estimate recharge: *Hydrogeology Journal*, 10(1), pp. 91-109.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2011. Datos generales de la situación de recarga del Aguascalientes. Disponible en HYPERLINK <http://www.inegi.org.mx> › contenidos › doc › 15_inf11, Acceso: 16 diciembre, 2020.
- Jie, Z., Jan Van, H., Bendel, D. & Barthel, R., 2011. ombination of soil-water balance models and water-table fluctuation methods for evaluation and improvement of groundwater recharge calculations. *Hydrogeology Journal*, pp. 1487-1502.
- King, H., 1899. Principles and conditions of the movements of groundwater, ed. Nabu Press. Washington, pp. 326.

- Moench, A. F., 1996, Flow to a well in a water-table aquifer: an improved Laplace transform solution. *Groundwater*, 34 (4), pp. 593-596.
- Neuman S.P., and Witherspoon P.A., 1972, Field Determination of the Hydraulic Properties of Leaky Multiple Aquifer Systems, *Water Resources Research*, 8, pp.1284-1298.
- Pacheco, J., Hernández, M., Burbey, T., González, N., Ortiz, Á., Zermeño, M., y Solís, A. 2013. Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México, *Engineering Geology*, pp. 164, pp.172-186.
- Risser, R., Johnson, A., Gburek, W. & Gordon, F., 2009. Comparison of recharge estimates at a small watershed in east-central Pennsylvania, USA. *Hydrogeology Journal*, pp. 287-298.
- Sánchez, J. 2014. Conceptos fundamentales de hidrogeología. Universidad de Salamanca España. pp.11.
- Scanlon, B., Healy, R. & Cook, P., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, pp. 18-39.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), 2002, Estudio Integral sobre la problemática del agua, subsidencia y sismicidad en el valle de Aguascalientes. Aguascalientes, Aguascalientes, México, Instituto del Agua del Estado de Aguascalientes (INAGUA), Reporte no publicado, pp. 433.
- Vélez Otálvaro, M. V., 2004. Métodos para determinar la recarga en acuíferos, Colombia, pp.20.