



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

### SISTEMA HIDROLÓGICO DEL ACUIFERO ATLIXCO – IZÚCAR DE MATAMOROS: TENDENCIAS HIDROLÓGICAS

HUGO BAUTISTA ATLIXQUEÑO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Puebla, Puebla

2020

La presente tesis, titulada: **Sistema hidrológico del acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros: tendencias hidrológicas**, realizada por el alumno: **Hugo Bautista Atlixqueño**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. ANGEL BUSTAMANTE GONZÁLEZ

ASESOR:   
DR. SAMUEL VARGAS LÓPEZ

ASESOR:   
DR. JUAN MORALES JIMÉNEZ

ASESOR:   
DR. AURELIO REYES RAMÍREZ

Puebla, Puebla, México, junio del 2020

# **SISTEMA HIDROLOGICO DEL ACUIFERO ATLIXCO – IZUCAR DE MATAMOROS: TENDENCIAS HIDROLOGICAS**

Hugo Bautista Atlixqueño, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2020

El acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros abastece de agua a ciudades importantes en el estado de Puebla, como Atlixco e Izúcar de Matamoros, y para la producción agrícola de regadío. Estos dos usos presionan cada día más el recurso hídrico del acuífero. Los registros oficiales no consideran actualmente al acuífero como sobreexplotado, porque no se tiene un estudio que evalúe objetivamente esto. Este estudio tuvo como objetivo conocer la disponibilidad de agua y su intensidad de uso, la variación en los niveles estáticos y la tasa de abatimiento del Acuífero Atlixco - Izúcar de Matamoros. Se obtuvo la información de cuatro estudios no procesados disponibles en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de los años 1980, 1996, 1997 y 2003 y se realizó una medición en campo en el año 2019 para 32 pozos de la red de monitoreo de la CONAGUA. Se estimó la intensidad de uso del agua del acuífero, se analizó estadísticamente la información de los pozos con los estadísticos de Brown-Forsythe y de Welch, y con la prueba de comparación de medias de Games-Howell. Para la obtención de planos de igual elevación se utilizó el programa Surfer versión 8. Los resultados mostraron que el crecimiento poblacional es ya un factor que aumenta la demanda de agua del acuífero, se tiene una alta variabilidad espacial importante en los niveles estáticos de los pozos y se tiene un abatimiento del nivel estático medio del acuífero de 0.099 m/año. Se concluyó que el acuífero está en una fase inicial de sobreexplotación del recurso hídrico.

Palabras clave: agua, estático, nivel, sobreexplotación.

# **HYDROLOGICAL SYSTEM OF THE ATLIXCO - IZUCAR DE MATAMOROS AQUIFER: HYDROLOGICAL TRENDS**

Hugo Bautista Atlixqueño, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2020

The Atlixco - Izúcar de Matamoros aquifer supplies water to important cities in the state of Puebla, such as Atlixco and Izúcar de Matamoros, and for irrigated agricultural production. These two uses cause water stress in the aquifer. Official records do not currently consider that the aquifer is experiencing groundwater depletion, but this has not been objectively evaluated. The aim of this study was to know the availability of water and its intensity of use, the variation in the static levels and the abatement rate of the Atlixco - Izúcar de Matamoros Aquifer. Information from four unprocessed studies available from the National Water Commission (CONAGUA), from the years 1980, 1996, 1997 and 2003, was obtained, and a field measurement was carried out in 2019 for 32 wells of the monitoring network of the CONAGUA. The intensity of aquifer water use was estimated, and the information from the wells was statistically analyzed with the Brown-Forsythe and Welch statistics, and with the Games-Howell mean comparison test. The Surfer version 8 program was used to obtain maps of the same elevation. It was found that human population growth is already a factor that increases the water demand of the aquifer, there is a high significant spatial variability in the static levels of the wells, and that the average static level of the aquifer is declining at a rate of 0.099 m/year. It was concluded that the aquifer is in an initial phase of groundwater depletion.

Keywords: water, static, level, depletion, aquifer.

## DEDICATORIA

### A mi esposa:

*Nallely Téllez Méndez*

### A mis hijos:

*Betsy Nahíara*

*Hugo Emír*

### A mis padres:

*Hugo Bautista Mellado*

*Flora Atlíxqueño Rojas*

### A mis hermanos:

*María Isabel*

*Areli*

*Abinadi*

*Selene*

*Luis Gustavo*

*Danna Itahi*

*David Esau*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de la beca para la realización de la maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla, por los medio necesarios para continuar con mi formación profesional y a su personal académico y administrativo por el apoyo para lograr esta meta de cursar la Maestría en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillos por ser parte de esta formación al recibir cursos en el posgrado de Hidrociencias.

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Dirección Local Puebla, en el área de Aguas Subterráneas por facilitar la información para la realización de este trabajo.

A los Comisariados ejidales, presidentes de unidades de riego y presidentes de agua potable de los pozos que fueron medidos por las facilidades para realizar dicha medición.

Al doctor Ángel Bustamante González por sus enseñanzas, apoyo, confianza y guía académica durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla como mi asesor directo.

A los doctores Samuel Vargas López, Juan Morales Jiménez y Aurelio Reyes Ramírez, por formar parte de esta formación al enseñarme, escucharme y sugerirme formas de llevar a cabo este trabajo, además de tomar tiempo de revisar esta tesis y ser parte del consejo particular.

A mi esposa e hijos por su apoyo y aliento para continuar creciendo profesionalmente.

A todos mis compañeros y amigos, que directa e indirectamente participaron en este proceso. Muchas gracias.

# CONTENIDO

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Planteamiento del problema de investigación.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Hipótesis.....	4
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
2.1. El agua subterránea como recurso natural y como elemento de los ecosistemas.....	5
2.2. El agua subterránea como componente del ciclo hidrológico .....	6
2.3. Invisibilidad del agua subterránea.....	7
2.4. Conceptualización de la disponibilidad y escasez del recurso hídrico.....	8
2.5 El agua subterránea en México.....	9
2.6 El acuífero como unidad de gestión del agua subterránea.....	11
2.7. Presión sobre el recurso hídrico.....	13
2.8. El acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros.....	15
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	16
3.1 Ubicación del área de estudio.....	16
3.2 Municipios ubicados en los límites del acuífero.....	18
3.3 Clima.....	19
3.4 Hidrografía.....	19
3.5 Fisiográfica .....	19

	Página
3.6 Geología.....	20
3.7 Tipo de acuífero .....	20
3.8 Servicio de agua potable y alcantarillado en la zona del acuífero.....	20
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
4.1. Obtención de información secundaria y estimación del índice de intensidad de agua per cápita.....	22
4.2. Mediciones de los niveles estáticos de la red de monitoreo de la CONAGUA.....	23
4.3. Análisis estadístico.....	26
4.4. Análisis de los niveles estáticos y tasa de abatimiento.....	26
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
5.1. Disponibilidad y uso del agua subterránea del acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros.....	28
5.1.1 Registros oficiales de disponibilidad.....	28
5.1.2. Uso actual del agua subterránea del acuífero.....	29
5.2 Presión del crecimiento poblacional sobre el recurso hídrico subterráneo...	32
5.3 Análisis de varianza de los datos a nivel de nivel de pozos.....	34
5.4 Dinámica en los niveles estáticos para el periodo 1980 – 2019.....	35
5.4.1 Profundidad de los niveles estáticos.....	35
5.4.2. Curvas de igual elevación de los niveles estáticos.....	37
5.4.3. Evolución del nivel estático .....	39
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>



	Página
6.1 Conclusiones.....	47
6.2 Recomendaciones.....	48
<b>7. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>49</b>
Anexo 1 Prueba de Games-Howell .....	56

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Coordenadas que delimitan el Acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros.....	17
Cuadro 2. Disponibilidad de agua subterránea Acuífero, periodo 2002 – 2018.....	28
Cuadro 3. Uso del agua concesionada en el Acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros.....	30
Cuadro 4. Volumen concesionado para cada uso.....	31
Cuadro 5. Intensidad de uso del agua per cápita ( $m^3 \text{ hab}^{-1}$ ).....	33
Cuadro 6. Homocedasticidad de varianzas de los pozos .....	34
Cuadro 7. Prueba de contraste de hipótesis de igualdad de medios .....	34
Cuadro 8. Heterogeneidad de los niveles piezométricos de los pozos de acuerdo a la prueba de Games – Wowell .....	35
Cuadro 9. Tasa se abatimiento calculado aritméticamente .....	46

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tipos de Acuíferos .....	13
Figura 2. Localización del Acuífero Atlixco - Izúcar de Matamoros .....	16
Figura 3. Municipios que incluye el Acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros .....	18
Figura 4. Sonda eléctrica de nivel para pozo .....	24
Figura 5. Medición de nivel estático en pozos del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros .....	25
Figura 6. Distribución espacial de los pozos en el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros.....	29
Figura 7. Distribución del uso de agua del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros por uso.....	31
Figura 8. Tendencia de la intensidad de uso del agua per cápita en el área del acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros.....	33
Figura 9. Curvas de Profundidad de los niveles estáticos.....	37
Figura 10. Curvas de igual elevación de los niveles estáticos.....	38
Figura 11. Líneas de corriente y dirección del flujo.....	39
Figura 12. Evolución del Nivel Estático del Acuífero Atlixco–Izúcar de Matamoros 1980-2019.....	40
Figura 13. Representación gráfica de abatimientos y recarga 1980-2019.....	42
Figura 14. Tendencia de evolución gráfica del nivel estático 1980-2019	43
Figura 15. Hidrograma del nivel estático del Acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros 1980-2019.....	44
Figura 16. Línea de tendencia del nivel estático y tasa de abatimiento....	45

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es la fuente principal del abastecimiento de agua mundial para los usos agrícola y doméstico. Se estima que 70 % del agua extraída del subsuelo se usa en actividades agrícolas, el 25 % en usos urbanos y el 5 % en usos industriales (Martínez et al., 2000). El agua subterránea es un recurso para la agricultura de zonas áridas y semiáridas, relevante para muchos productores rurales con producciones pequeñas y medianas. Debido a que el costo de explotación de las aguas subterráneas es relativamente bajo, se ha tenido en las últimas décadas la perforación creciente de pozos en el Sureste de Asia, norte de China, México y otras regiones (Sahuquillo, 2009), con el consecuente aumento en la extracción del recurso. Este incremento en la extracción de agua subterránea ha llevado a que cada vez se reporten más acuíferos sobreexplotados. En México, se reportó que 75 de 653 acuíferos estaban sobreexplotados en 1975, aumentando a 104 en 2006 (DOF, 2005; Escobar-Villagrán y Palacios-Vélez, 2012).

Una pregunta recurrente en la gestión del agua subterránea es si el acuífero está siendo sobre-explotado actualmente y ¿Cuánto se puede extraer del agua subterránea sin que se deteriore la base del recurso? La respuesta está relacionada con el balance entre la recarga o entradas al sistema y las abstracciones o salidas del sistema, en donde la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración profunda y las características del subsuelo son determinantes para lo primero y las extracciones de pozos para lo segundo. De los 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua que recibe México en forma de precipitación, el 72.5 % se evapotranspira, el 21.2 % escurre por los ríos o arroyos, y el 6.3 % se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. De acuerdo al balance hídrico nacional, el país cuenta anualmente con 446 777 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2018).

Se pone mayor atención a un acuífero cuando ya se encuentra en condición de sobreexplotación. Es importante planear el aprovechamiento sustentable del recurso hídrico de un acuífero antes de que se tenga problemas de sobre-explotación. Aún no

se tiene evidencia de problemas de sobre-explotación de acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, pero en el área se tienen factores que pueden llevar en el corto plazo a esta situación. El objetivo del estudio fue analizar las características hidrológicas y las fluctuaciones de los niveles estáticos del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros y determinar si el acuífero está siendo sobreexplotado.

## **1.1. Planteamiento del problema de investigación**

El acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros (clave 2130) tiene una recarga media anual de 244.3 millones de metros cúbicos anuales, una descarga natural comprometida de 83.9 millones de metros cúbicos anuales y un volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014, de 113.278661 millones de metros cúbicos anuales; resultando una disponibilidad media anual de agua subterránea de 47.141339 millones de metros cúbicos anuales (DOF, 2015). El 04 de enero de 2018, se publicó que la disponibilidad media anual es de 42.663082 millones de metros cúbicos anuales (DOF, 2018). El acuífero aún no está en la lista de los sobre-explotados, pero está sujeto a presiones, como los desarrollos habitacionales, actividades de agricultura de riego y la cercanía de acuíferos sobreexplotados (DOF, 2016). En la parte agropecuaria, los usuarios agrícolas en los últimos años han adoptado nuevas tecnologías de producción, cuya rápida expansión ha favorecido la construcción de un gran número de pozos en muy corto tiempo, con una gran capacidad de extracción, lo que puede llevar a la sobreexplotación del acuífero. La demanda creciente de agua subterránea puede llevar a disminuir la disponibilidad del acuífero, con el riesgo de sobreexplotarse en el corto plazo.

Para el manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo se requiere entender la dinámica hidrológica actual del sistema de recurso, aunque la información actual es escasa y aislada. Es necesario analizar al sistema en sus componentes hidrológicos y relacionarlos con los usos y demandas, visualizando las tendencias futuras de los mismos. Es necesario analizar las consecuencias posibles de que continúen las

tendencias actuales de extracción y distribución del recurso, y prever los conflictos por el uso del recurso que podrían presentarse en el futuro. Dos aspectos son básicos: entender la dinámica hidrológica del acuífero y entender el sistema de aprovechamiento del recurso asociado al acuífero. Solo a partir de esto se pueden prever escenarios posibles con diferentes estrategias de manejo y aprovechamiento del recurso hídrico. Este estudio se centró en la evaluación de la dinámica hidrológica del acuífero.

La pregunta que guio esta investigación es:

¿Cuál es la disponibilidad del recurso hídrico, el comportamiento de los niveles estáticos y la tasa de abatimiento del acuífero Atlixco Izúcar de Matamoros?

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo general**

Conocer la disponibilidad de agua y su intensidad de uso, la variación en los niveles estáticos y la tasa de abatimiento del Acuífero Atlixco Izúcar de Matamoros

### **Objetivos específicos**

Estimar cuál es la disponibilidad e intensidad de uso del recurso hídrico en el acuífero Atlixco Izúcar de Matamoros

Evaluar cuál ha sido la tendencia de los niveles piezométricos del sistema del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros en el periodo 1979 a 2019.

## **1.3 Hipótesis**

La disponibilidad de agua en el acuífero es alta y la intensidad de su uso bajo, por lo que aún es suficiente para satisfacer los usos de agua en el acuífero.

Los niveles piezométricos del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros han disminuido en el periodo 1979 a 2029, tanto espacialmente como a través del tiempo.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. El agua subterránea como recurso natural y como elemento de los ecosistemas**

Zektser y Everest (2004) plantean que el agua subterránea es tanto un recurso natural como un componente de los ecosistemas o del medio ambiente. A diferencia de otros recursos naturales, el agua subterránea presenta la dualidad de ser un recurso natural fluente, del cual se extrae constantemente una cantidad para diversos usos, y a la vez es parte del recurso hídrico total de la tierra, el cual mantiene toda la vida del planeta. En este estudio se aborda la primera perspectiva, antropocéntrica, el agua subterránea como un recurso natural, conceptualizado como una de las fuentes de abastecimiento de agua para la supervivencia y el bienestar humano.

El hombre ha usado el agua subterránea por cientos de años. Se tiene registro de pozos para extraer agua desde la época de Bronce en la isla de Creta y otros asentamientos de civilizaciones humanas más recientes (Mays, 2013). En el transcurso de tiempo que media entre esas lejanas épocas y la actual, la utilización del agua subterránea ha cambiado notablemente, desafortunadamente con una tendencia hacia el deterioro del recurso. Desde una perspectiva de recurso natural, el agua subterránea es un elemento de los ecosistemas a ser utilizado para los usos humanos, con una visión antropocéntrica y, desde el punto de vista de su manejo, se busca su optimización económica.

La idea de ver el agua subterránea no solo como recurso natural sino como un ecosistema viviente es reciente. Esta nueva concepción se reconoce ahora como necesario para una efectiva protección de este elemento de los ecosistemas, por lo que en su evaluación se usan criterios ecológicos y de salud humana (Griebler et al., 2010). En esta perspectiva, ahora se reconoce que el agua subterránea no solo es una fuente de abastecimiento de agua para el ser humano, sino que tiene un papel importante en el ciclo de nutrimentos, la regulación del clima y para mantener la



biodiversidad. En el agua subterránea se encuentran organismos que degradan los contaminantes y contribuyen a la purificación del agua (Bergkamp y Cross, 2006).

## **2.2. El agua subterránea como componente del ciclo hidrológico.**

El agua se encuentra en la naturaleza en tres formas: líquido, sólido y gaseoso. No permanece estática, sino que cambia de forma y lugar a través del tiempo, y a los procesos de movimiento del agua en la naturaleza se le conoce como ciclo hidrológico (Karamouz et al., 2011). El ciclo hidrológico conceptualiza al movimiento del agua en la naturaleza como una serie de procesos continuos. El agua se evapora de los océanos, de la superficie terrestres y de los cuerpos de agua continentales, circula y se condensa en la atmósfera, el agua condensada se precipita en océanos y superficies terrestres, fluye sobre la superficie o se infiltra hacia los acuíferos, es almacenada en el suelo o en la biomasa de la vegetación, y puede ser evaporada o transpirada nuevamente hacia la atmósfera (Todd y Mays, 2004). En el ciclo hidrológico pasa de una fase a otra y de un componente a otro. Se han identificado quince componentes del ciclo hidrológico: agua en los océanos, evaporación, agua en la atmósfera, precipitación, agua almacenada en los hielos y nieves, agua de deshielo, escorrentía superficial, corrientes de agua, agua dulce almacenada, infiltración, descarga de agua subterránea, manantiales, transpiración y agua subterránea almacenada (Neri, 2009). Los procesos principales de movimiento del agua son la precipitación, evapotranspiración, deshielo, infiltración, escurrimiento superficial, flujo subsuperficial y percolación. La cantidad de agua en un componente del ciclo hidrológico es afectada por los procesos de movimiento del agua y por las extracciones que el hombre hace de esos componentes para satisfacer sus diversas necesidades, básicas y de recreación (Mays, 2013).

En el pasado, la forma en que se utilizaba localmente el recurso hídrico en algún componente del ciclo hidrológico tenía impactos ambientales locales o regionales, mientras que ahora esos impactos influyen también a nivel de la biosfera o global, particularmente en el cambio climático (Vörösmarty y Shagian, 2000; Haddeland et al.,

2014). Proceso como el cambio de uso del suelo tienen efectos fuertes en el ciclo hidrológico. La pérdida de cobertura vegetal, por ejemplo, disminuye la evapotranspiración pero aumenta el escurrimiento superficial y la descarga de éstos en las cuencas (Bosmans et al. 2017). Mientras que el creciente aumento de áreas impermeables en los centros urbanos disminuye el proceso de infiltración del agua y aumenta el escurrimiento superficial (McGrane, 2016).

### **2.3. Invisibilidad del agua subterránea**

Para la mayoría de la población humana el agua subterránea es un recurso invisible, a diferencia del agua superficial de ríos, lagos y otros cuerpos de agua superficiales. Debido a que nadie la ve, excepto cuando se perfora un pozo y éste es lo bastante superficial. La disminución del nivel de agua o la contaminación de un río o un lago es generalmente visible para cientos de personas. En cambio, solamente unos pocos observan que cada año el nivel de un pozo del que se extrae grandes cantidades de agua disminuye progresivamente. Esta invisibilidad de este recurso hídrico lleva a que frecuentemente pase desapercibido, tanto por la sociedad en general como por los tomadores de decisiones de políticas públicas y se tenga poca conciencia de la relevancia de este recurso (IGRAC, 2018).

### **2.4. Conceptualización de la disponibilidad y escasez del recurso hídrico**

Los conceptos de disponibilidad de agua y escases de agua son conceptos antropocéntricos, ya que se evalúan de acuerdo a criterios de utilidad para los seres humanos. La disponibilidad de agua se refiere al agua de diferentes fuentes que está disponible para una población que depende de este recurso y que se localiza en la región o que, aunque no viva en la región, tiene acceso a él (Kummu et al., 2016). La disponibilidad de agua se estima con referencia a una localización específica de un río, o para un cuerpo de agua superficial o subterráneo. La disponibilidad de agua y su uso son conceptos que están en función del flujo total de agua de una cuenca o

acuífero, de su calidad, de la normatividad, regulaciones y de los factores económicos que controlan su uso (USGS, 2002).

En México, la disponibilidad media anual de agua subterránea es determinada conforme al método establecido en la "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", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2002 (DOF, 2002). La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) define la disponibilidad de agua subterránea como 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" (CONAGUA, 2014). Para su estimación se utiliza la siguiente expresión:

$$DMAAS = RT - DAC - VCIRPDA$$

En donde:

DMAAS es la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea

RT es la Recarga Total

DAC es la Descarga Anual Comprometida

VIRPDA es el Volumen Concesionado e Inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua

La escasez de agua se conceptualiza como una disponibilidad limitada del recurso hídrico, generalmente relacionada a una disponibilidad per cápita. La escasez no depende solamente de cuánta agua exista, sino también de que tan grande es la población que depende de este recurso, lo que se traduce en una demanda del recurso (Kummu et al., 2016). Para la medición de la escasez de agua se han propuesto diferentes indicadores. A principios de los años 80 del siglo pasado se desarrolló el índice de estrés de agua, el cual relaciona la seguridad alimentaria con la disponibilidad de agua dulce. Este índice definió la escasez de agua de acuerdo a el

número de personas que compiten por una unidad de flujo de agua, definida como  $10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  (Damkjaer y Taylor, 2017).

La escasez es percibida más fácilmente por las personas de una localidad o región. Se percibe como un riesgo o como un problema, de acuerdo a la severidad de la falta de agua. En el mundo, se estima que alrededor de un billón de personas tiene escasez de agua en por lo menos parte del año (Mekonnen y Hoekstra, 2016). En muchas regiones la escasez del recurso hídrico crea conflictos sociales.

## **2.5 El agua subterránea en México**

La expansión de las actividades humanas, el crecimiento poblacional y el deterioro de la calidad de las aguas superficiales han ocasionado el uso creciente de las aguas subterráneas en México. En el año 2014 se estima que alrededor del 37 % (30 374 millones de  $\text{m}^3$  por año) del volumen total concesionado para los diversos usos del agua provenía del agua subterránea y que el abastecimiento público depende en un 60.4 % de esta fuente (CONAGUA, 2014); mientras que para el año 2017 la contribución de agua subterránea para el abastecimiento de los diversos usos de la agua fue de 39.1 % (34 380 millones de  $\text{m}^3$  por año (CONAGUA, 2018). La República Mexicana se ha dividido en 653 unidades administrativas denominadas “acuíferos” (DOF, 2018). La ubicación geográfica y el relieve son factores determinantes para la disponibilidad del recurso hídrico. Dos terceras partes del territorio nacional se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones anuales que superan los 2 000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial (CONAGUA, 2016).

Debido a que los acuíferos (unidades geohidrológicas del agua subterránea) son almacenamientos de agua acumulada a través de cientos de años y cuando se extrae más agua que la recarga anual se usa agua acumulada en otros años, con la subsecuente disminución de los niveles freáticos y son considerados sobreexplotados

(Martínez, et al., 2002). En México, 106 acuíferos son explotados en forma intensiva (sobrexplotados), con extracciones mayores que la recarga natural actual; de estos acuíferos sobreexplotados se extrae el 55.2 % del agua subterránea para todos los usos (CONAGUA, 2014). En el mediano plazo el problema puede ser mayor, ya que cerca de 100 acuíferos tienen un grado de explotación (relación extracción/recarga) entre el 75 y 99 % y que en caso de no tomarse medidas urgentes para su administración adecuada, pueden pasar a un nivel de explotación intensiva no sostenible, o sobreexplotado. El grado de explotación se estima como (Arreguín et al., 2017):

$$\text{Grado de explotación} = \frac{\text{Extracción}}{\text{Recarga}} \times 100 (\%)$$

En México, en el año 2010 se registró, a nivel nacional un volumen total concesionado de agua subterránea de 20 640 748 588 m<sup>3</sup>, de los cuales el 76 % (15 696 742 054 m<sup>3</sup>) se concesionó al uso agrícola, 16.1 % al uso público (3 314 666 483 m<sup>3</sup>), 5.2 % al uso industrial (1 072 342 869 m<sup>3</sup>), 0.2 % (49 316 572 m<sup>3</sup>) al uso doméstico y el resto a los usos acuícola (0.1 %), pecuario (0.8 %), servicios (0.9 %) y otros usos no especificados (0.7 %). En total se asignaron 314 292 derechos de agua subterránea (Díaz et al., 2013).

Las fluctuaciones en los niveles de las aguas subterráneas reflejan cambios en su almacenamiento en los acuíferos. Se pueden identificar dos grupos principales de fluctuaciones: las de período largo, causadas por cambios estacionales en la recarga natural y el bombeo persistente, y las de período corto, por ejemplo, las causadas por los efectos de períodos breves de bombeo intermitente, cambios barométricos y por efecto de la marea. En general, no es necesario realizar mediciones continuas ya que los niveles del agua subterránea responden generalmente con lentitud a los cambios de origen externo.

## **2.6 El acuífero como unidad de gestión del agua subterránea**

El agua subterránea se encuentra en el subsuelo. En el subsuelo se encuentran rocas que contienen aberturas llamadas poros o espacios, de formas y tamaños variados. A esta propiedad de las rocas se les llama porosidad y es de alta porosidad si proporciones relativas grandes de espacios vacíos. En estos poros es donde se almacena el agua subterránea (Werner, 1996). En la parte superior del subsuelo se tiene una zona no saturada y a mayores profundidades se encuentra una zona saturada, donde todos los poros están llenos de agua. El agua que se encuentra por debajo de la superficie terrestre, de manera natural, se le llama agua subsuperficial, tanto de la zona saturada como de la no saturada. Al agua de la zona saturada se le llama agua subterránea. Al nivel superior de la zona saturada se le llama nivel freático, en acuíferos libres (Price, 2012).

Algunas propiedades para determinar la capacidad de almacenamiento y flujo del agua subterránea son la porosidad y la permeabilidad. La primera se refiere a relación entre el volumen de espacios en la roca y el volumen total de la roca. La permeabilidad es la combinación del tamaño de poros y el grado en que los poros están intercomunicados. Una roca puede ser porosa pero impermeable y a los materiales que dejan pasar fácilmente el agua se les denomina permeables (Price, 2012).

Para el estudio y gestión del agua subterránea se utiliza el término acuífero. Cuando se tienen rocas o materiales no consolidados que almacenan agua y tienen una permeabilidad suficiente para que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicas y de calidad deseable, tenemos lo que se le denomina un acuífero (Price, 2012). Tinajero (1982) define al acuífero como toda formación geológica permeable y porosa que permite la transmisión y almacenamiento del agua con tal calidad que pueda extraerse en cantidades económicamente aprovechables. En la Ley Nacional de Aguas se define al acuífero como “cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se

almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites naturales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas del subsuelo” (DOF, 1992).

Si el acuífero está entre dos capas de roca impermeables, se le denomina confinados. En caso contrario, se tiene un acuífero libre. Se considera una tercera categoría de acuíferos semiconfinados (Figura 1). En los acuíferos confinados sus límites son dos capas impermeables que definen su espesor, el agua que se encuentra en ellos está a una presión mayor que la atmosférica y que, debido a ésta presión, en un pozo sin bombear el agua puede subir a una altura más allá de la capa impermeable, denominándose a esta altura nivel piezométrico. Si el nivel piezométrico sobrepasa la superficie del terreno ésta emerge recibiendo el nombre de acuíferos artesianos. Los acuíferos libres, también llamados acuíferos no confinados o freáticos, su límite inferior es una capa impermeable y el superior el nivel freático o superficie libre del agua, que se encuentra a una presión igual a la atmosférica. Los acuíferos semiconfinados están limitados por formaciones intermedias entre uno libre y uno confinado; es decir las formaciones que limitan a estos acuíferos son poco permeables, pero pueden ceder o recibir volúmenes significativos de agua.

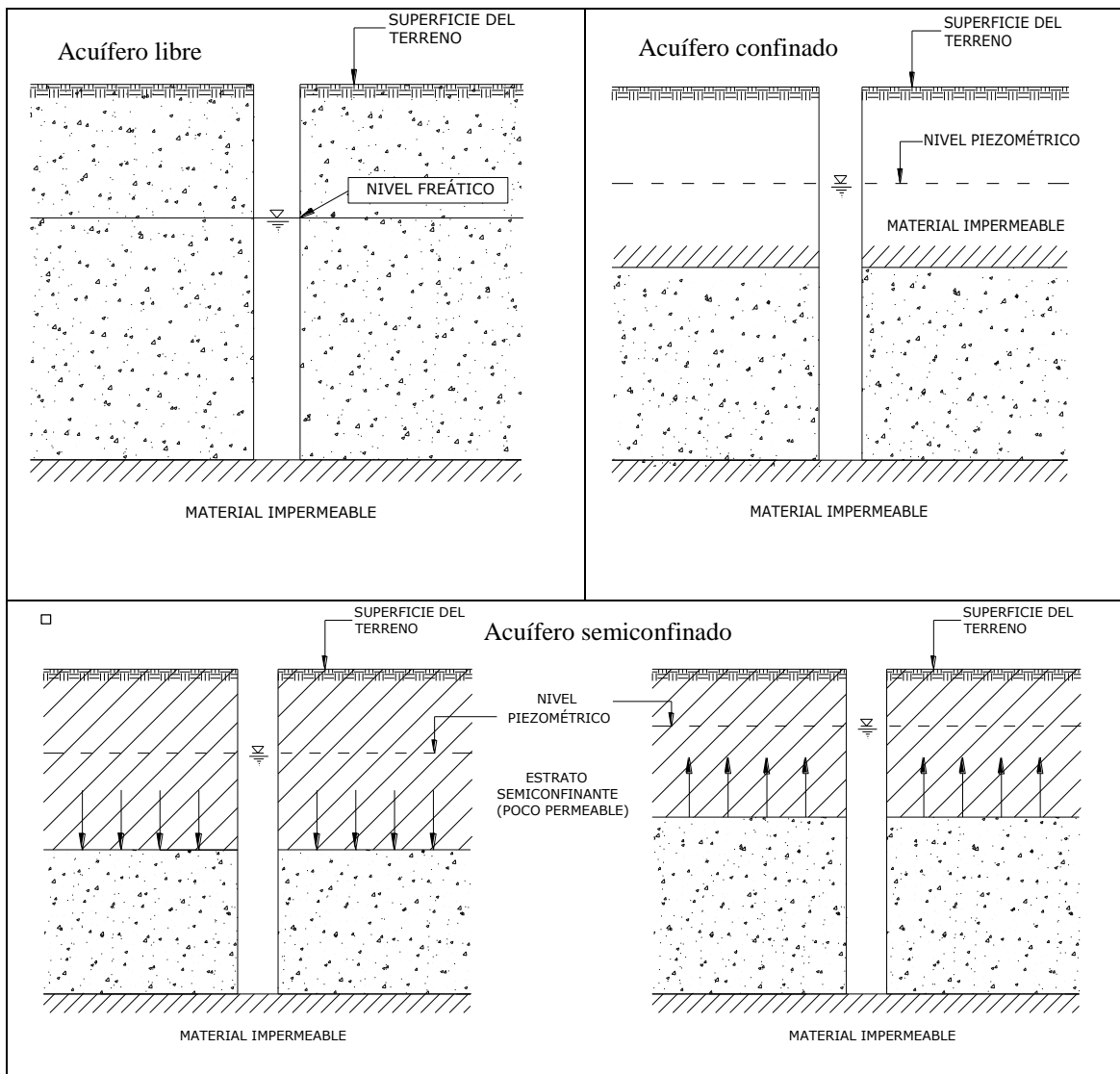


Figura 1. Tipos de Acuíferos

Fuente: Werner (1996)

## 2.7. Presión sobre el recurso hídrico

“El grado de presión sobre los recursos hídricos (GPRH) mide el porcentaje del agua renovable disponible que es destinada a los usos consuntivos” (CONAGUA, 2016), Los grados de presión se clasifican en sin estrés, bajo, medio, alto y muy alto. El grado sin estrés es cuando el agua extraída no rebasa el 10% del líquido renovable disponible; bajo, de 10 a 20 %; medio, de 20 a 40 %; alto, de 40 a 100 %, y muy alto,



mayor a 100%. Para México se reporta un GPRH promedio, para el año 2017, de 19.5 % (CONAGUA, 2018).

Para el recurso hídrico subterráneo se usa la intensidad de uso, como una medición de la afectación del grado de sostenibilidad este recurso. Se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. El promedio estimado para México es de 38.4% (CONAGUA, 2018).

El impacto del crecimiento de la población en los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, se analiza con el indicador de agua disponible per cápita. Este índice determina el volumen de agua disponible per cápita y lo podemos relacionar con niveles de escasez y estrés (CONAGUA, 2018). Una escasez absoluta se presenta cuando el índice es menor de 500, crónica cuando se tienen valores de 500 a 1000, con estrés para valores de 1000 a 1700 y sin estrés cuando es mayor a 1700 (CONAGUA, 2018).

Un indicador para evaluar la presión ejercida sobre los recursos hídricos por las extracciones de agua para su uso en la economía es la intensidad de agua per cápita ( $IUA_{pc}$ ). Este índice se refiere al volumen de agua que es extraído para abastecer a un habitante de la población de un territorio en un periodo de tiempo. El índice de la intensidad de agua per cápita se estima como (DANE, s.f.):

$$IUA_{pc} = \frac{ATE_j}{PT_j}$$

Dónde:

$IUA_{pc}$  es la intensidad de uso del agua per cápita en el año de cálculo ( $m^3 \text{ hab}^{-1}$ )

$ATE_j$  es el agua total extraída ( $m^3$ )

$PT_j$  Población total (habitantes)

$j$  es el año de cálculo

## **2.8. El acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros**

El acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros fue delimitado en el acuerdo del Diario Oficial de la Federación del 5 de diciembre de 2001 (DOF, 2001), con clave 2103, en el estado de Puebla. La disponibilidad de agua del acuífero ha sido actualizada en los años 2009, 2013, 2015 y 2018 (DOF, 2016; DOF, 2018). De acuerdo a los datos del Diario Oficial de la Federación del 4 de enero de 2018, la disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros se determinó considerando una recarga media anual (R) de 244.3 millones de metros cúbicos anuales; una descarga natural comprometida (DNCOM) de 83.9 millones de metros cúbicos anuales, un volumen concesionado de agua subterránea (VCAS) de 113.28 millones de metros cúbicos; disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS) de 42.66 millones de metros cúbicos; un déficit de cero metros cúbicos, y ningún dato de volumen de extracción de agua subterránea consignado (VEXTEX) (DOF, 2018).

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio comprende una superficie de 2,658.4 km<sup>2</sup> y se localiza en la parte suroccidental del Estado de Puebla (Figura 2). Las coordenadas del polígono que delimita el acuífero se presentan en el Cuadro 1.

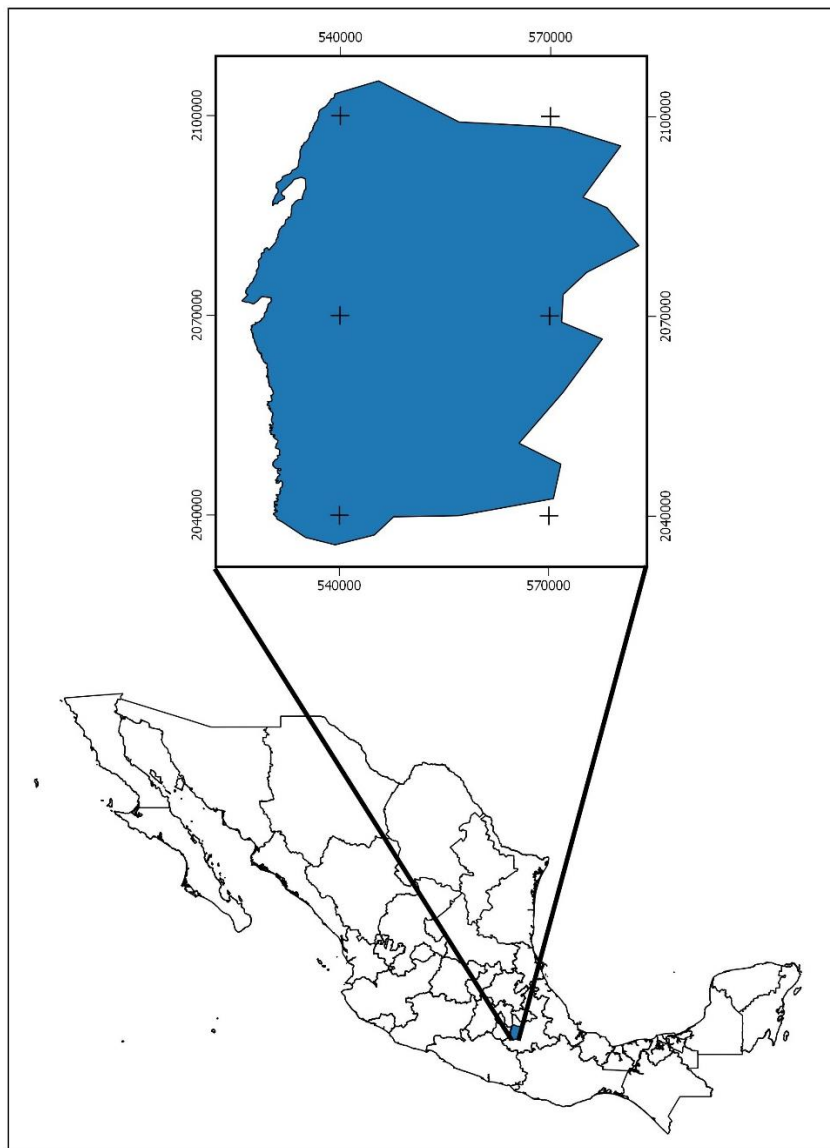


Figura 2. Localización del Acuífero Atlixco - Izúcar de Matamoros

Fuente: CONAGUA (2018)

Cuadro 1. Coordenadas que delimitan el Acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros

Vértice	Longitud	Latitud
1	98° 34' 5.1"	19° 2' 2.2"
2	98° 27' 31.9"	18° 59' 1.3"
3	98° 19' 13.0"	18° 58' 34.9"
4	98° 14' 21.2"	18° 57' 4.3"
5	98° 17' 26.1"	18° 52' 52.8"
6	98° 15' 29.2"	18° 52' 2.2"
7	98° 12' 52.9"	18° 48' 56.4"
8	98° 17' 6.7"	18° 46' 46.5"
9	98° 19' 3.0"	18° 44' 57.7"
10	98° 19' 10.4"	18° 42' 42.3"
11	98° 15' 51.2"	18° 41' 20.2"
12	98° 19' 3.7"	18° 36' 58.6"
13	98° 22' 38.7"	18° 32' 50.6"
14	98° 19' 13.8"	18° 31' 8.2"
15	98° 19' 50.5"	18° 28' 19.6"
16	98° 27' 32.1"	18° 26' 56.3"
17	98° 32' 51.2"	18° 26' 50.8"
18	98° 34' 25.5"	18° 25' 22.0"
19	98° 37' 37.3"	18° 24' 33.7"
20	98° 40' 2.1"	18° 25' 9.9"
21	98° 41' 54.7"	18° 26' 24.7"
22	98° 42' 23.3"	18° 26' 40.4"
23	98° 42' 25.9"	18° 53' 46.4"
24	98° 37' 57.7"	19° 0' 18.0"
25	98° 37' 38.7"	19° 1' 18.8"

Fuente: CONAGUA (2015)

### 3.2 Municipios ubicados en los límites del acuífero

El área del acuífero incluye, de forma parcial o total, los siguientes municipios: Acteopan, Ahuatlan, Atlixco, Atzala, Atzitzihuacán, Chiautla, Chietla, Cohuecan, Epatlán, Huaquechula, Izúcar de Matamoros, Ocoyucan, Puebla, San Diego la Mesa Tochimiltzingo, San Martín Totoltepec, San Nicolás de los Ranchos, Santa Isabel Cholula, Tehuiztzingo, Teopantlan, Tepemaxalco, Tepeojuma, Tepexco, Tianguismanalco, Tilapa, Tlapanalá, Tochimilco y Xochiltepec (Figura 3).

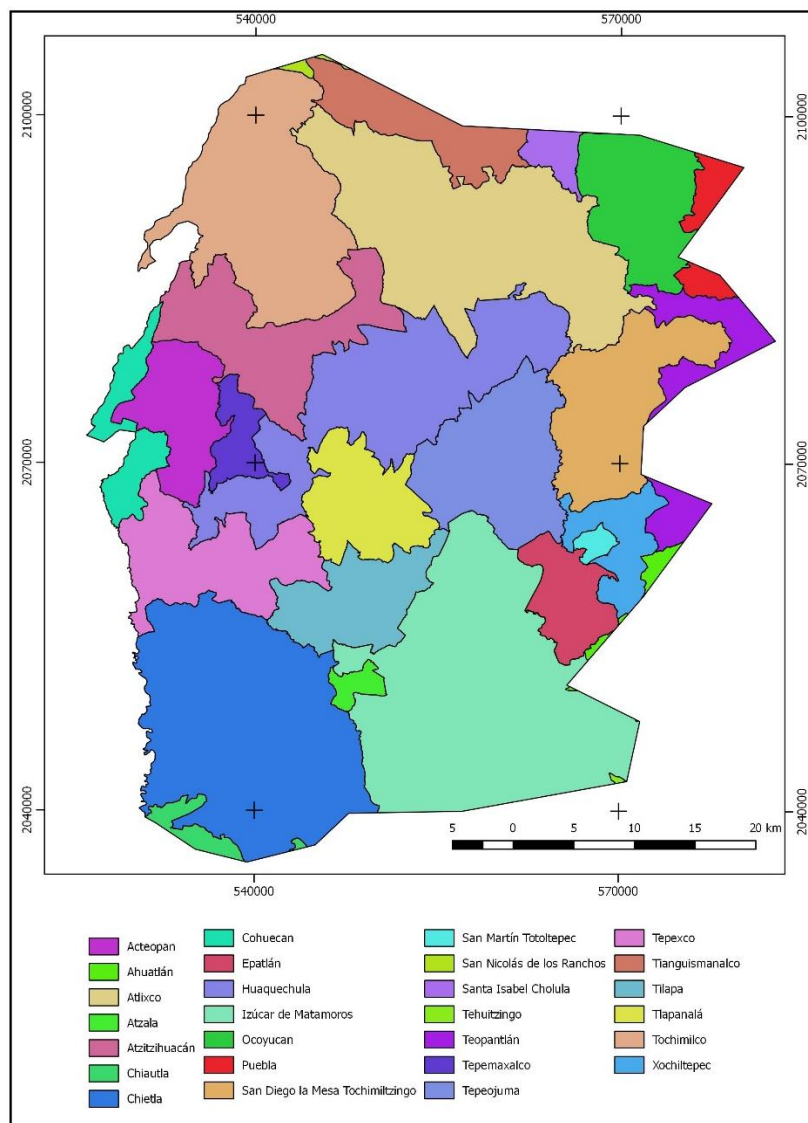


Figura 3. Municipios que incluye el Acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2015) y límites municipales.

### **3.3 Clima**

El clima del área del acuífero, de acuerdo con la clasificación de Köppen, se describe como semicálido con régimen de lluvias de verano y poca oscilación de temperatura en la zona de Atlixco y un clima cálido con lluvias en verano y ligera oscilación de la temperatura en la zona de Izúcar de Matamoros. La temperatura media anual varía de 16.1 a 21.8° C. De acuerdo a la información de nueve estaciones climatológicas distribuidas en el área, la precipitación media anual varía de 719.9 a 1,061.2 mm, con una precipitación media anual de 890 mm. Los meses más lluviosos ocurren en junio, julio, agosto y septiembre, con precipitaciones de hasta de 1273.2 mm. La evaporación potencial media anual es de 1,926.4 mm (CONAGUA, 2015).

### **3.4 Hidrografía**

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 18 río Balsas. A la Subregión hidrológica del Alto Balsas y comprende a el territorio de la Cuenca del Río Atoyac y la Subcuenca del río Nexapa. Las corrientes superficiales más importantes que escurren en el área del acuífero son: río Nexapa, río Epatlán y el río Atila o Huitzilac (CONAGUA, 2015); los dos últimos se consideran afluentes del primero.

### **3.5 Fisiográfica**

El Acuífero de Atlixco-Izucar de Matamoros se ubica en el Altiplano Mexicano, dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, en donde forma un amplio valle dividido por serranías y cerros separados; una fracción se ubica en la Provincia de la Sierra Madre del Sur (Raiz, 1964). El acuífero, geomorfológicamente, comprende a la Sierra Nevada, representada por un lineamiento complejo de grandes volcanes dirigidos de NNW a SSE. Está limitado hacia el oriente por las sierras de Zoapiltepec (2500 msnm), Teyuca (1800 msnm) y Vaquería (1600 msnm); hacia el poniente, limita con la falda oriental del Popocatepetl (4000 msnm) y las sierras de Tochimilco (2250

msnm) y Huaquechula (1750 msnm). En el área afloran rocas de tipo sedimentario e ígneo que varían en edad y composición (CONAGUA, 2015).

### **3.6 Geología**

El valle, corresponde a estructuras hundidas, producto de la interacción entre las placas tectónicas del Cocos, Norteamericana y Caribe, formando zonas de basculamiento normal e inverso de grandes dimensiones, rellenas por rocas sedimentarias producto de la pos orogenia Laramide del cretácico superior y terciario inferior, y acompañados de un intenso vulcanismo que las relleno, los estratovolcanes denominados Popocatepetl e Iztaccihuatl, son estructuras que han emergido a través de grandes fracturas o fallas, coexistiendo con las rocas sedimentarias del terciario inferior, como la formación Balsas, que es un conglomerado vulcanoclásticos interdigitado con areniscas y lutitas, en la parte superior existen tobas básicas e intermedias, andesitas, brechas volcánicas básicas e intermedias, conglomerados, basaltos, vulcanoclásticos y areniscas emplazadas al norte del acuífero, las abse del acuífero son rocas metamórficas del esquisto Acatlán (CONAGUA, 2015).

### **3.7 Tipo de acuífero**

En acuífero se considera de tipo libre, presentando condiciones de buena permeabilidad. Esto se debe a la presencia de rocas basálticas fracturadas y rocas calcáreas, así como de materiales piroclásticos de alta permeabilidad (CONAGUA, 2015).

### **3.8 Servicio de agua potable y alcantarillado en la zona del acuífero**

De acuerdo a la información reportada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en el censo de Población y Vivienda 2010 (CONAGUA, 2015), para las localidades urbanas que se localizan dentro del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, clave 2103, la cobertura de agua entubada dentro de la vivienda, era de 71.4 por

ciento, la cual se encontraba por abajo de la media nacional que era de 95.4 por ciento para el mismo año; mientras que en las localidades rurales, la cobertura de agua entubada era de 63.4 por ciento, la cual se encontraba también por abajo de la media nacional que era de 77.2 por ciento para el mismo año. Por su parte, la cobertura de alcantarillado para las localidades urbanas era del 88.3 por ciento, la cual se encontraba por abajo de la media nacional que fue de 96.3 por ciento. La cobertura de alcantarillado para las localidades rurales fue del 75.3 por ciento, la cual se encontraba por arriba de la media nacional que fue de 68.9 por ciento.



## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Obtención de información secundaria y estimación del índice de intensidad de agua per cápita

La primera fase del estudio se realizó una investigación documental (Gómez, 2011) para analizar la información disponible de disponibilidad de fuentes y para tener una aproximación al conocimiento de la tendencia de la disponibilidad de agua subterránea del acuífero de estudio. Se buscó información disponible histórica en libros, tesis, proyectos, instituciones gubernamentales, Diario Oficial de la Federación, trabajos realizados e información pública en la base de Datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). En el caso de la información del REPDA, se capturó en Excel para su manejo y análisis, se realizaron gráficas de uso del agua del acuífero y se cuantificaron los volúmenes totales para cada uso, estos gráficos nos permiten analizar la distribución del agua concesionada dentro del acuífero. Posteriormente, con los datos de las coordenadas de los pozos de la base de datos de REPDA se ubicaron los pozos dentro del acuífero. Se relacionó la extracción de agua con la población total, de acuerdo al índice de la intensidad de agua per cápita propuesta por DANE(s.f.):

$$IUA_{pc} = \frac{ATE_j}{PT_j}$$

Dónde:

$IUA_{pc}$  es la intensidad de uso del agua per cápita en el año de cálculo ( $m^3 \text{ hab}^{-1}$ )

$ATE_j$  es el agua total extraída ( $m^3$ )

$PT_j$  Población total (habitantes)

$j$  es el año de cálculo

Se solicitó a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de Puebla, a través del Departamento de Aguas Subterráneas, la información de los estudios históricos disponibles de los niveles estáticos para el acuífero. Se obtuvo de la CONAGUA

información de cuatro estudios, reportados en los años de 1980, 1996, 1997 y 2003, de una red de monitoreo de 81 pozos del acuífero. Se analizó la calidad de la información y solo se utilizó la de 64 pozos, ya que 21 pozos no tenían datos de ningún año.

## **4.2. Mediciones de los niveles estáticos de la red de monitoreo de la CONAGUA**

Se midieron los niveles estáticos, en el periodo de octubre al de noviembre de 2019, para 32 pozos de la red de monitoreo de la Comisión Nacional del Agua, con el fin de tener un periodo adicional de mediciones y para tener una aproximación de la certidumbre de la información histórica. Se consideró este periodo porque los estudios obtenidos de la CONAGUA se hicieron en los meses de octubre y noviembre, de los años en que se hicieron los monitoreos. Se pretendía realizar las mediciones en los 64 pozos de la red de monitoreo de CONAGUA; en el transcurso del trabajo de campo se observó que para algunos pozos no se podía medir su nivel estático porque estaban sin funcionar, las coordenadas de localización eran erróneas (no fue posible localizar al pozo) o no se obtuvo el permiso para su medición, debido a que eran pozos de uso público-urbano y deben trabajar las 24 horas del día. La medición de los 32 pozos seleccionados de la red de monitoreo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se realizó con una sonda eléctrica (Figura 4) de nivel para pozo con las siguientes características.

- Con dos electrodos en la terminal que al entrar en contacto con el nivel en el pozo indica que ya se encontró el nivel del agua.
- La sonda esta graduada en metros para determinar la profundidad.
- Longitud de sonda de 200 m.
- Cable dúplex calibre 18AWG Calibrado cada 2 metros con grapas de latón.

- Con señal acústica y de analógica de nivel
- Batería comercial de refacción de 9V
- Electrodo forrado por falso aviso base y carrete metálicos, como se ilustra en la siguiente imagen:



Figura 4. Sonda eléctrica de nivel para pozo

Fuente: Foto tomada por Bautista, A.H., 2019.

Para la medición de los niveles estáticos se realizó el siguiente procedimiento.

1. Se ubicaron geográficamente con las coordenadas de los pozos de la red de monitoreo en Google Earth, para facilitar la llegada al pozo.

2. Se realizó una visita de campo al pozo y estando en el área se contactó a algún productor para preguntar quién era él o los representantes de dicho pozo. Posteriormente se les localizó en la población para solicitar el permiso para hacer la medición; esto se hizo si los pozos eran para uso agrícola. Cuando el pozo era para uso público-urbano, se buscaba a los presidentes del comité de Agua Potable.
3. Si el pozo estaba en funcionamiento en el momento de la visita, se programó con los representantes una visita posterior para que apagaran el pozo por algunas horas, para que se efectuara la recuperación del nivel freático; si el pozo tenía varias horas apagadas se realizaba la medición.
4. En el pozo, las empresas que instalan el equipo de bombeo dejan una manguera que baja hasta donde está el motor, en caso de ser sumergibles o hasta los impulsores cuando el equipo es tipo Turbina Vertical. Por esta manguera se mete el cable, que en la punta tiene un electrodo, hasta que entra en contacto con el agua. En ese momento, la sonda emite un sonido, prende una luz, o registra un voltaje. Cuando ocurrió alguna de esas señales, se hizo la medición de la profundidad del nivel estático en el cable graduado cada 2 metros, con la ayuda de un flexómetro, y se registró el dato en la libreta de campo (Figura 5).



Figura 5. Medición de nivel estático en pozos del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros.

Fuente: Foto tomada por Bautista, A.H., 2019.

}

### **4.3. Análisis estadístico**

Para analizar la variabilidad estadística de las series de niveles estáticos de los pozos, se analizaron los datos de 23 pozos con registros completo para 1980, 1996, 1997, 2003 y 2019. Se analizó la homogeneidad de varianza con el estadístico de Levene. Para probar la hipótesis de igualdad de medias de los niveles estáticos de los pozos, se utilizaron los estadísticos Brown-Forsythe y Welch; ambos son estadísticos robustos alternativos al estadístico F del ANOVA, cuando no se puede asumir igualdad de varianza. Para las comparaciones múltiples de medias de los niveles estáticos (comparaciones post hoc) se utilizó la prueba de Games - Howell, utilizada cuando no se puede asumir que las varianzas poblacionales son iguales (Pardo y Ruiz, 2002). Las pruebas se realizaron con el programa SPSS versión 17.

### **4.4. Análisis de los niveles estáticos y tasa de abatimiento**

Para el análisis de la información de los niveles estáticos, los datos obtenidos de la CONAGUA y los datos obtenidos de las mediciones de campo de los niveles estáticos de la red de monitoreo de pozos del acuífero estudiado, se ingresaron a Excel y graficaron las variaciones de los niveles estáticos con respecto al tiempo y se obtuvo el hidrograma de los niveles estáticos del acuífero. Con esta información se realizó la configuración de los niveles estáticos, se unieron varios niveles en un solo plano para obtener curvas de igual elevación piezométrica en el programa Surfer, estas curvas son las equipotenciales de una red de flujo (Peña, 2015).

En este estudio, con los datos medidos de los niveles estáticos y los obtenidos de la Comisión Nacional del Agua se obtuvieron 3 tipos de curvas que permiten entender el funcionamiento del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros. Estas curvas son:

1. Curvas de igual profundidad de los niveles estáticos.
2. Curvas de igual elevación de los niveles estáticos.
3. Curvas de igual evolución de los niveles estáticos.

La tasa de abatimiento promedio del nivel estático se estimó tanto con la diferencia de los niveles estáticos medios de los pozos para 2019 y 1980 dividido por el número de años, como con la pendiente de la línea de tendencia de nivel estático. El promedio de los dos valores se utilizó en la siguiente ecuación para el cálculo de la variación del almacenamiento en el área total de la zona de extracción (volumen de agua que anualmente se extrae de más):

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

$\Delta VS$  = Cambio de almacenamiento en el periodo analizado

S = Coeficiente de almacenamiento de la zona de balance (Adoptado por correlación hidrogeológica con el acuífero vecino del Valle de Puebla, equivalente a 0.042)

A = Área de influencia de las curvas de igual evolución del nivel estático, considerando un área de 1230 km<sup>2</sup> (estimado con polígonos en la aplicación de Google Earth)

h = Valor de variación piezométrica en el periodo 1980-2019, igual a 0.1003 m/año.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Disponibilidad y uso del agua subterránea del acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros.

#### 5.1.1 Registros oficiales de disponibilidad

De acuerdo a las publicaciones del Diario Oficial de la Federación sobre la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros, ésta fue de 0 millones de m<sup>3</sup> en los años 2002 y 2009, aumentó a 47.14 millones de m<sup>3</sup> en el 2015, disminuyó a 41.14 en el año 2016, aumentando nuevamente en el 2018 a 42.66 millones de m<sup>3</sup> (Cuadro 2). La recarga media anual, la descarga natural comprometida volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos no varió entre años. En cuanto al volumen concesionado de agua subterránea, éste se mantuvo constante de 2002 a 2018, con un aumento de 3.260879 millones de m<sup>3</sup> de 2018 a 2019.

Cuadro 2. Disponibilidad de agua subterránea Acuífero, periodo 2002 – 2018.

DOF (Fecha de Publicación)	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
Cifras en millones de metros cúbicos anuales						
30 de Abril de 2002	244.3	83.9	161.001048	129.1	0.000000	-0.581048
28 de Agosto de 2009	244.3	83.9	161.001048	129.1	0.000000	-0.581048
20 de Abril de 2015	244.3	83.9	113.278661	129.1	47.141339	0.000000
13 de Junio de 2016	244.3	83.9	113.278661	129.1	41.141339	0.000000
04 de Enero de 2018	244.3	83.9	113.275983	-	42.663082	0.000000
REPDA enero 2019			116.536862			

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios

técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

### 5.1.2. Uso actual del agua subterránea del acuífero

En el acuífero se tiene una alta extracción de agua subterránea, a través de una densa red de pozos. En el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) se contabilizaron 1095 pozos para el acuífero. Los pozos se distribuyen de norte a sur del acuífero, principalmente en la parte central y sur-este del área del acuífero (Figura 6)

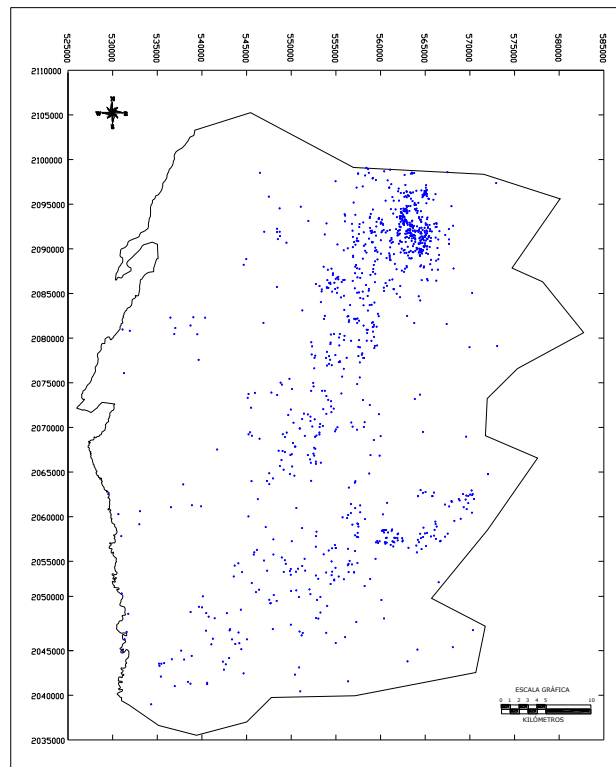


Figura 6. Distribución espacial de los pozos en el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros

Fuente: Elaboración propia con datos del REPGA 2018

El número de pozos para uso agrícola es el predominante (Cuadro 3), ya que se tiene tres veces más pozos de este uso que para el uso público urbano, que es el segundo en importancia. Los pozos para usos domésticos, industriales, pecuario y servicios son



pocos en comparación con el número de pozos de uso agrícola. Esta tendencia del número de pozos es similar a la observada en los volúmenes de agua subterránea concesionados por uso (Cuadro 4; Figura 7). El 78.2 % del volumen concesionado es para uso agrícola y el 17.3 % para uso público urbano, los dos usos de agua predominantes en el acuífero. El uso público urbano del agua es el agua destinada a centros de población y asentamientos humanos, a través de la red municipal (DOF, 2020). Aún predomina el uso agrícola del agua del acuífero, la influencia del crecimiento de los centros de población urbanos, con su asociado aumento en la demanda de agua, es visible en el acuífero. La importancia del crecimiento urbano como factor de presión para el recurso hídrico subterráneo debe ser reconocida en la toma de decisiones, principalmente cuando se planifica sobre la ubicación, diseño y ampliación de centros urbanos (Foster, 2001).

Cuadro 3. Uso del agua concesionada en el Acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros

<b>Uso</b>	<b>Número de pozos</b>
Agrícola	646
Diferentes usos	157
Doméstico	47
Industrial	13
Pecuario	6
Público urbano	219
Servicios	7
<b>Total</b>	<b>1095</b>

Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA 2018

Cuadro 4. Volumen concesionado para cada uso

Uso	Cantidad	Volumen (Millones de m <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)
Agrícola	646	91.176	78.24
Diferentes usos	157	3.548	3.04
Doméstico	47	0.017	0.01
Industrial	13	1.358	1.17
Pecuario	6	0.129	0.11
Público urbano	219	20.159	17.30
Servicios	7	0.151	0.13
Total	1095	116.538	100

Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA 2018

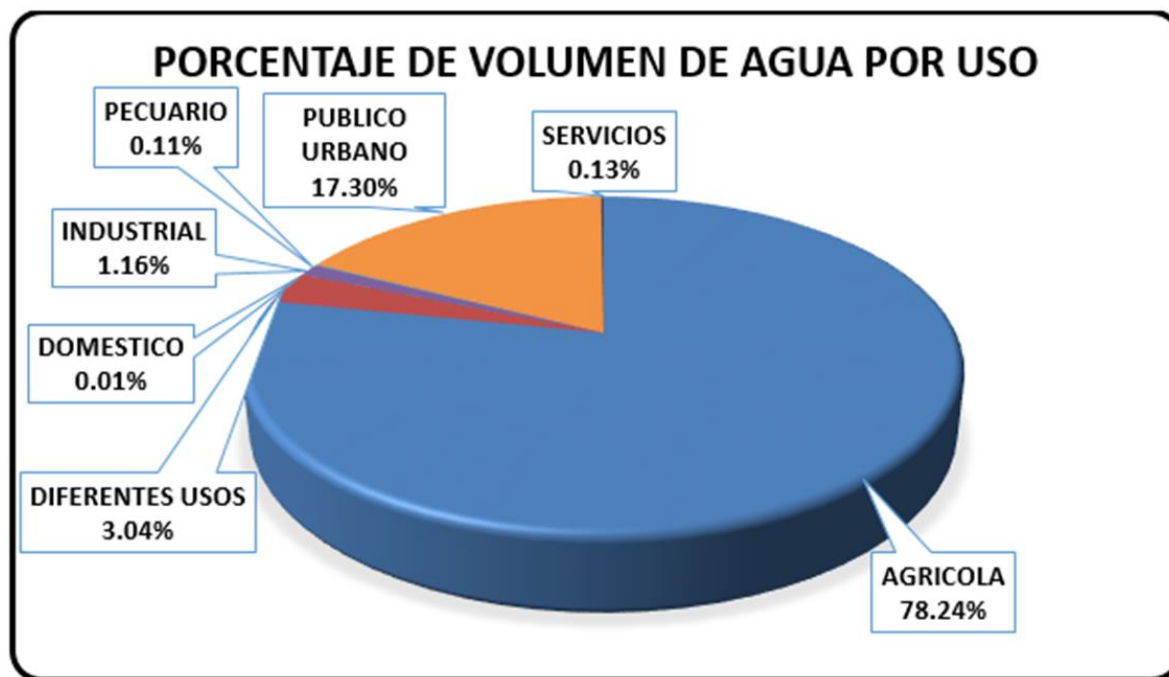


Figura 7. Distribución del uso de agua del acuífero Atlíxco-Izúcar de Matamoros por USO

Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA 2018

## 5.2 Presión del crecimiento poblacional sobre el recurso hídrico subterráneo

De acuerdo con los resultados de los censos y conteos de población y vivienda realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, para el año 2000 la población total en el área que comprende el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, clave 2103, ascendía a 349,575 habitantes; en el año 2005, era de 345,951 habitantes y en el año 2010, era de 367,345 habitantes, lo que representa el 6.35 % de la población total del estado de Puebla. La población que habita en la superficie del acuífero está distribuida en 471 localidades, de las cuales solamente 27 corresponden a localidades urbanas, las que en conjunto concentraban en el año 2010, a 230,123 habitantes, que corresponden al 62.6 % de la población total que habita dentro de los límites del acuífero; en las restantes 444 localidades rurales había 137,222 habitantes que corresponden al 37.4 % de la población total. Las principales localidades ubicadas en la superficie del acuífero son Atlixco, Izúcar de Matamoros, Atencingo, San Jerónimo Coyula, Chietla, Tianguismanalco; todas ellas mayores a 2,500 habitantes.

De acuerdo con la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la tasa de crecimiento poblacional en el territorio que abarca el acuífero, evaluada del año 2000 al 2010, fue de 0.02 por ciento anual, la cual es inferior a la tasa de crecimiento estatal, que fue de 1.43 por ciento anual, para el mismo periodo. Por su parte, las proyecciones del Consejo Nacional de Población, aplicadas para los municipios del acuífero, en el año 2030, la población que habitará dentro de la demarcación del acuífero, requerirá 23.86 millones de metros cúbicos por año, para abastecimiento de agua potable, bajo un escenario inercial, lo cual representa 3.75 millones de metros cúbicos más que los utilizados en el año 2010.

El índice de la intensidad de agua per cápita ( $IUA_{pc}$ ) (Cuadro 5) muestran la influencia de factor crecimiento poblacional, de acuerdo a las estadísticas de volúmenes extraídos de agua reportados en los diferentes decretos de actualización de disponibilidad de agua para el acuífero. La Figura 8 muestra que en el acuífero no se

ha aumentado, por lo menos en los registros oficiales, el volumen extraído, por lo que el aumento de la población del área lleva a una intensidad de uso de agua per cápita menor. De seguir esta tendencia se tendrá que aumentar la extracción de agua o transferir agua de otros usos hacia el uso público urbano. En este sentido, el mejorar la eficiencia en el uso de agua para la agricultura puede dejar excedentes para el uso público urbano.

Cuadro 5. Intensidad de uso del agua per cápita ( $\text{m}^3 \text{hab}^{-1}$ )

AÑO	POBLACIÓN	VEXTET	$IUA_{pc}$
2000	349575	129100000	369.3
2005	345951	129100000	373.2
2010	367345	129100000	351.4
2030	514283	129100000	251.0

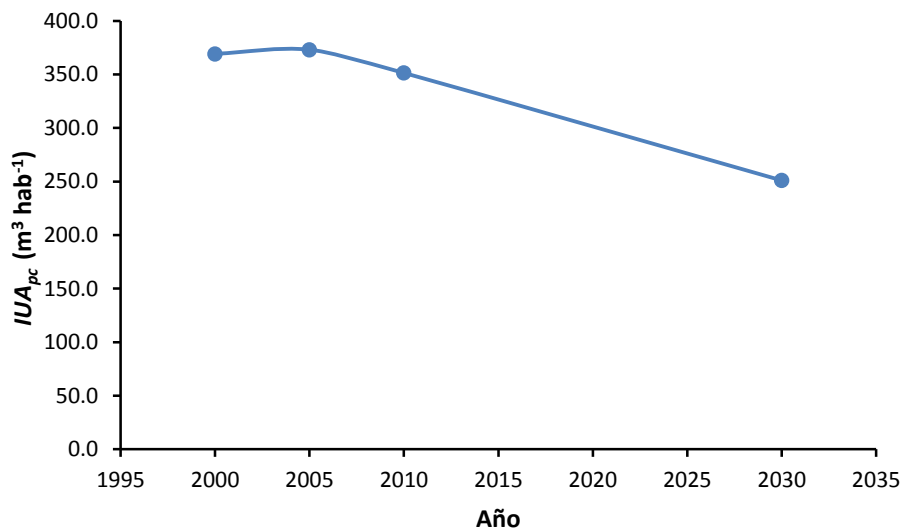


Figura 8. Tendencia de la intensidad de uso del agua per cápita en el área del acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros

### 5.3 Análisis de varianza de los datos a nivel de nivel de pozos

Se observó que los datos de los niveles estáticos de los cinco años con mediciones de pozos, de acuerdo con el estadístico de Levene, no presentan una homogeneidad de varianza (Cuadro 6). Esto se explica porque en el acuífero hay una variación espacial en los niveles estáticos y las tendencias en el comportamiento de estos niveles varían espacial y temporalmente.

Cuadro 6. Homocedasticidad de varianzas de los pozos

Estadístico de Levene	df1	sf2	sig
2.206	22	92	0.005

Tanto los estadísticos de Welch como el de Brown-Forsythe (Cuadro 7) indican que las medias de los niveles piezométricos de los pozos para el periodo de estudio son diferentes.

Cuadro 7. Prueba de contraste de hipótesis de igualdad de medios

	Estadístico	df1	df2	Sig.
Welch	318.986621	22	33.1919544	0.000
Brown-Forsythe	50.3496934	22	41.2011346	0.000

La prueba de Games – Howell (Anexo 1) indicó que se tuvo una alta variabilidad en las medias de los niveles estáticos de los pozos analizados. Solamente dos pozos no tuvieron diferencias significativas en los niveles estáticos medios con el resto de pozos (Anexo 1; Cuadro 8). Este resultado era esperado, debido a que en el acuífero se tiene una variación en los niveles estáticos (nivel freático) asociada a la topografía y a los flujos del agua subterránea, las zonas de recarga se ubican en las zonas topográficamente elevadas y las zonas de descarga en las partes planas y bajas (Price, 2012).

Cuadro 8. Heterogeneidad de los niveles piezométricos de los pozos de acuerdo a la prueba de Games – Wowell.

Pozo	Pozos con niveles piezométricos diferentes ( $p = 0.05$ )
P1	P4, P8, P9, P12, P13, P14, P15, P18, P19, P20, P21, P22, P23
P2	P3, P4, P13, P14, P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23
P3	P2, P5, P9, P12, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P23
P4	P1, P2, P5, P9, P12, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P23
P5	P3, P4, P7, P13, P14, P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23
P6	Ninguno
P7	P5, P9, P12, P17, P19, P20, P21, P22, P23
P8	P1, P5, P9, P12, P13, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P23
P9	P1, P3, P4, P7, P8, P11, P13, P14, P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23
P10	Ninguno
P11	P9, P12,
P12	P1, P3, P4, P7, P8, P11, P13, P14, P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23
P13	P1, P2, P5, P8, P9, P12, P16, P19, P21, P23
P14	P1, P2, P5, P9, P12, P16, P17, P19, P21, P22, P23
P15	P1, P2, P5, P9, P12, P16,
P16	P3, P4, P8, P13, P14, P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23
P17	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P12, P14, P16, P18,
P18	P1, P2, P5, P9, P12, P16, P17, P19, P21, P23
P19	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P12, P13, P14, P16, P18
P20	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P12, P16,
P21	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P12, P13, P14, P16, P18,
P22	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P12, P14, P16
P23	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P12, P13, P14, P16, P18

## 5.4 Dinámica en los niveles estáticos para el periodo 1980 – 2019.

### 5.4.1 Profundidad de los niveles estáticos

La Figura 9 muestra la profundidad de los niveles estáticos para el área de los pozos de la red de monitoreo medidos, dentro del acuífero. Estas curvas muestran las zonas

con niveles someros y zonas con profundidades. Su conocimiento es importante para la planeación y uso del recurso hídrico subterráneo, y está relacionado con el costo de bombeo para su extracción. También, nos permite detectar posibles descargas de los acuíferos por evapotranspiración. Se observa en la zona oriente una tendencia de disminución de las profundidades del nivel estático, a medida que se va de norte a sur, con profundidades de los niveles estáticos en las partes más bajas de 2.24 a 7.32 m. En la zona donde la profundidad del Nivel Estático es de 2.24 m, que corresponde al territorio del Municipio de San Martín Totoltepec, la evapotranspiración juega un papel importante en la descarga del acuífero, razón importante que considerar en un balance de aguas subterráneas. La presencia de estos niveles someros se explica posiblemente porque el Río Naxapa recorre de sur a norte por esa zona y en su recorrido se originan filtraciones constantes que son fuentes de la recarga del acuífero.

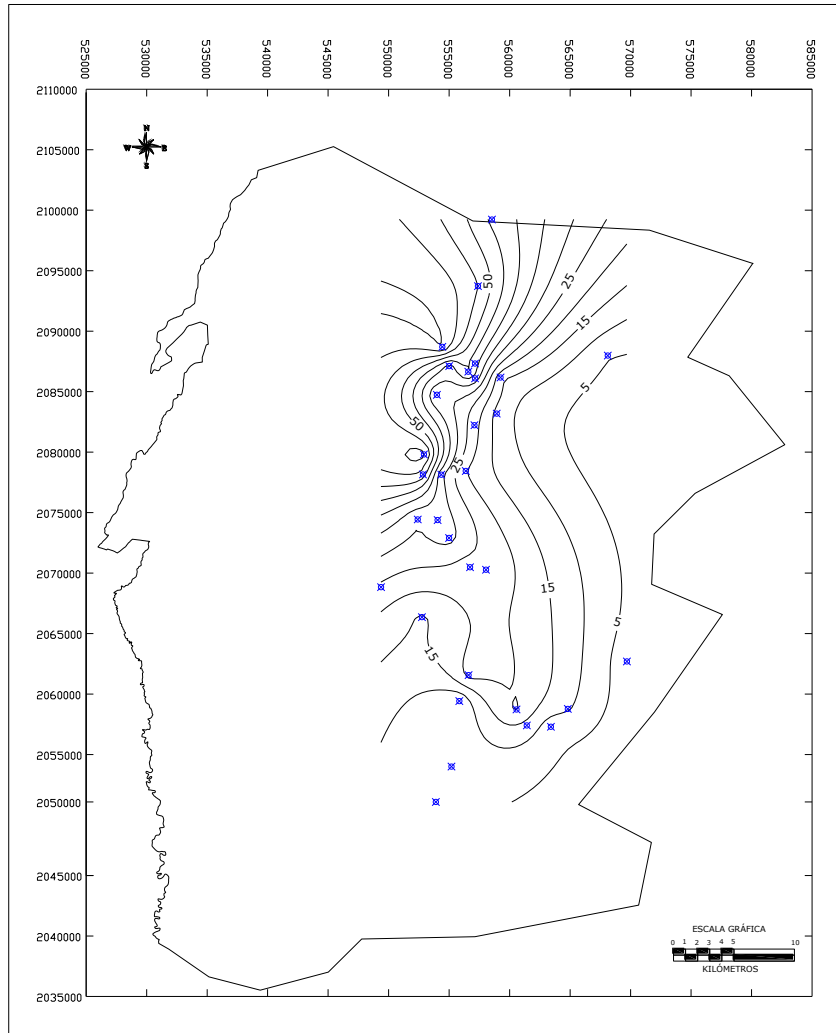


Figura 9. Curvas de Profundidad de los niveles estáticos.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

#### 5.4.2. Curvas de igual elevación de los niveles estáticos

Las curvas de igual elevación de los niveles estáticos (Figura 10) muestran las elevaciones de los niveles estáticos respecto al nivel del mar. Ellas pueden considerarse elevaciones piezométricas, ya que “el pozo es un piezómetro” (Peña, 2015). Son conocidas como equipotenciales de una red de flujo, referidas a una unidad hidrogeológica. Para el acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros, las curvas perpendiculares a las curvas de igual elevación (Figura 11) indican una dirección de flujo de norte a sur, de acuerdo a las líneas equipotenciales que van de mayor valor a



menor valor. Se interpreta que la mayor recarga del acuífero se localiza en la parte norte.

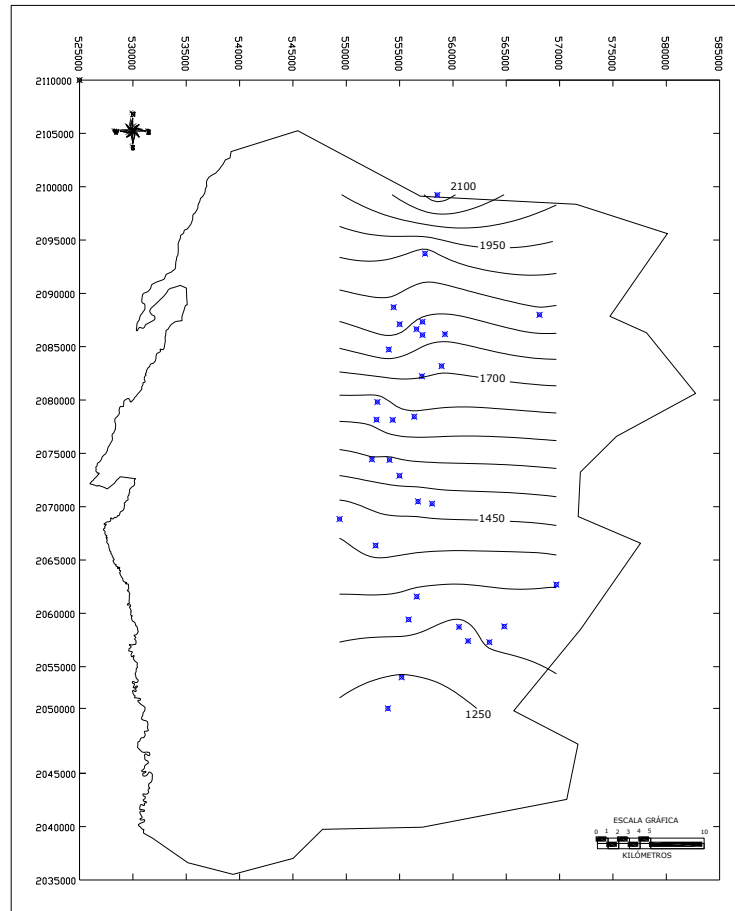


Figura 10. Curvas de igual elevación de niveles estáticos.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

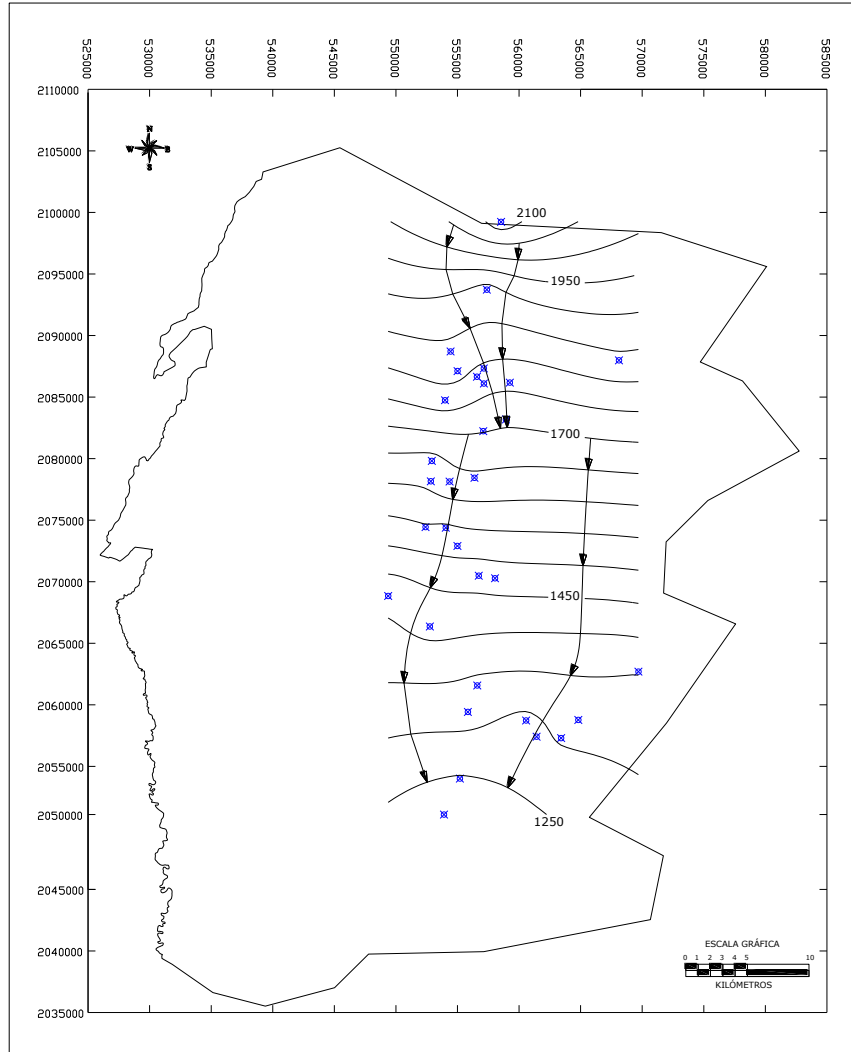


Figura 11. Líneas de corriente y dirección del flujo.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

La evolución del almacenamiento subterráneo se presenta la Figura 12. Se observan abatimientos en la parte superior del acuífero, hasta de  $-20.18$  m en el municipio de Tianguismanalco. Se observan recuperaciones en la parte noroeste, centro-este y sureste de la zona de Atlixco, y a lo largo del valle de San Juan Epatlán. Estas recuperaciones pueden alcanzar hasta de  $13.36$  m, principalmente en las áreas cercanas a zonas de recarga. Esta variación en los niveles estáticos están

relacionados tanto con la presencia de zonas de recarga como con la intensidad de bombeo (Chávez y Flores, 1992).

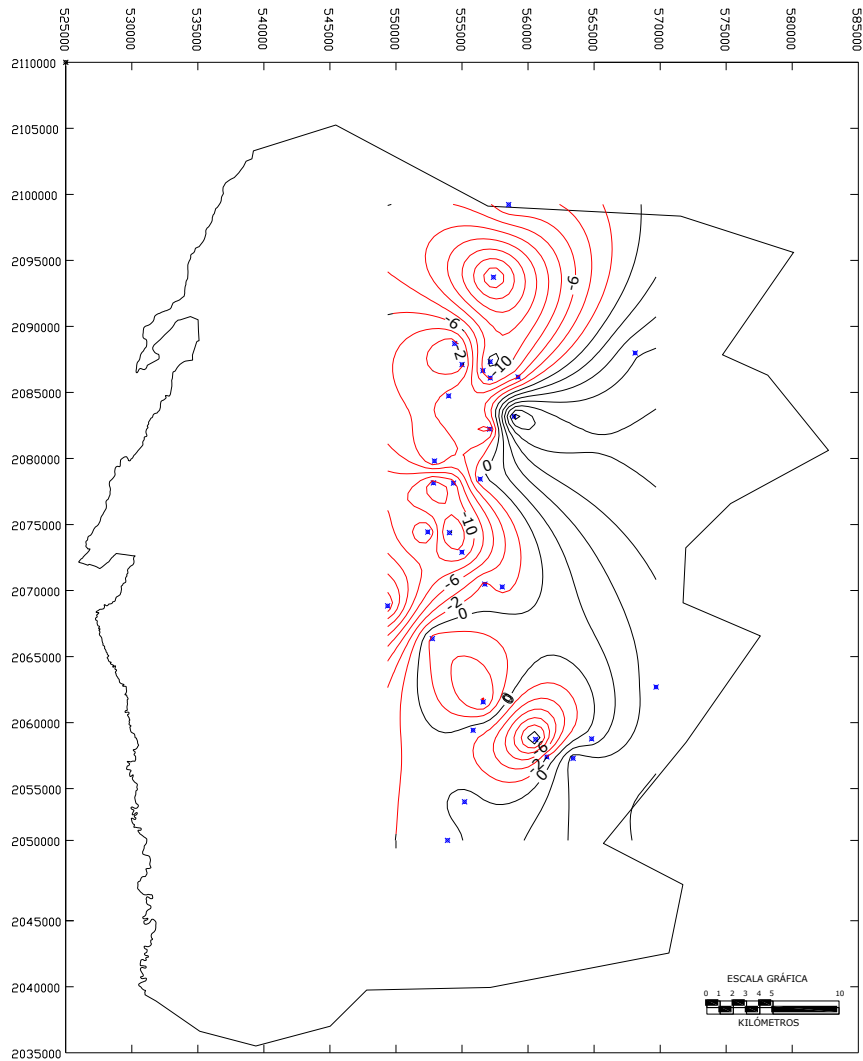


Figura 12. Evolución del Nivel Estático del Acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros  
1980-2019

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

De los pozos monitoreados, 9 pozos presentan abatimientos de más de 10 metros en 39 años de bombeo, y 8 pozos muestran recuperaciones que van de los 0.88 m a 13.36 m (Figura 13). Esta tendencia se muestra gráficamente en la Figura 14, donde se observa que 24 pozos, el 75% de 32 pozos, presentan abatimiento y 8 pozos, el 25%,

muestran niveles recuperados. La variación espacial del abatimiento y recarga de los pozos en un acuífero es explicada principalmente por el nivel de extracción del agua, el cual es un factor determinante del comportamiento de los pozos individuales (Díaz et al., 2014). Romero et al. (2017) identificaron que para el acuífero Valle de Celaya, 20 % de 76 pozos presentaron un abatimiento mayor de 2 m/año, lo que se asocia a la sobreexplotación de esos pozos. En algunas zonas donde se tienen registros de los niveles estáticos profundos, el cono de abatimiento que se forma en el bombeo es mayor, y los productores agrícolas y organismos operadores municipales de agua deben perforar pozos más profundos, con el consiguiente mayor costo de infraestructura y operación (Díaz et al., 2013).

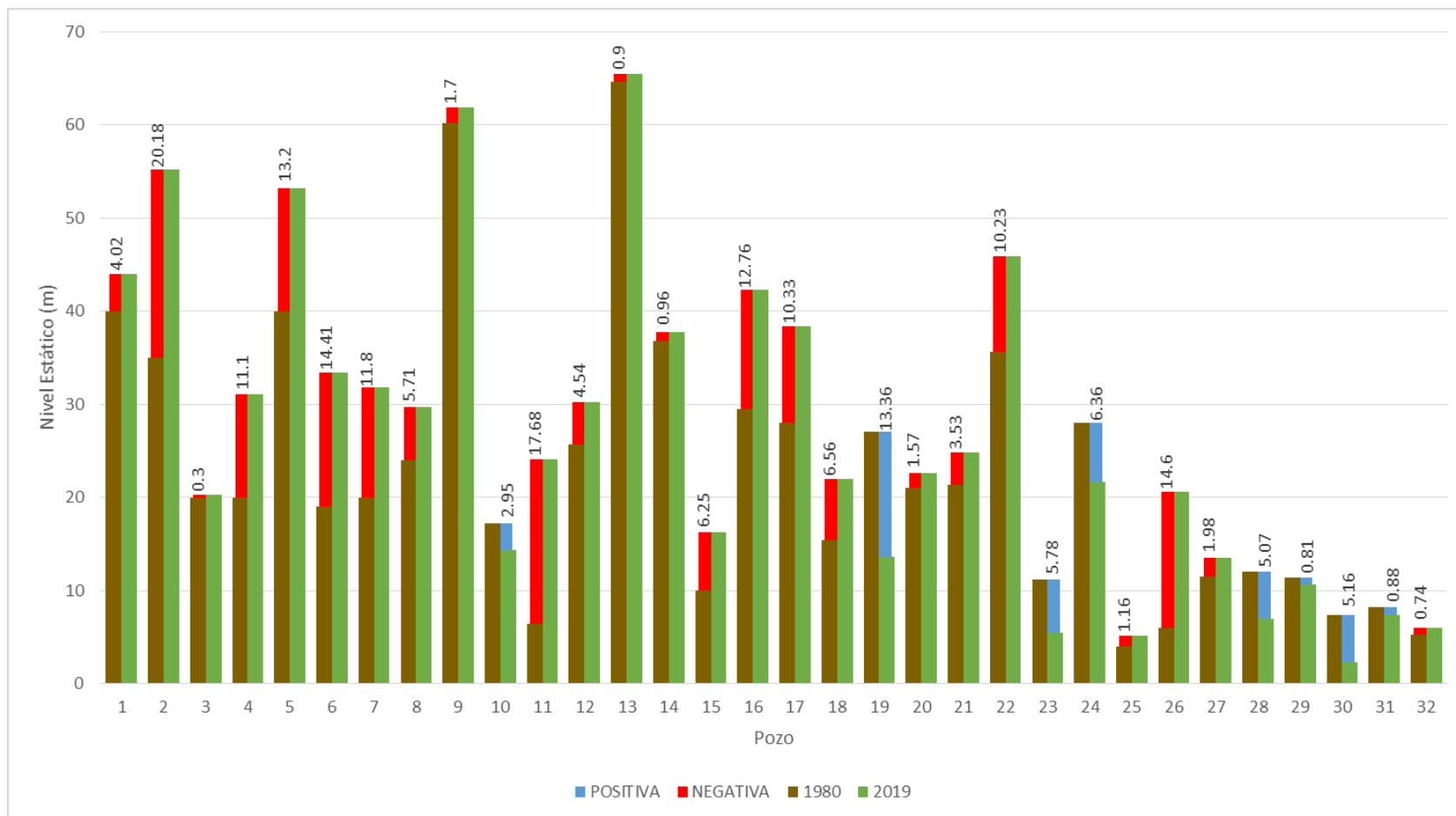


Figura 13. Representación gráfica de abatimientos y recarga 1980-2019

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

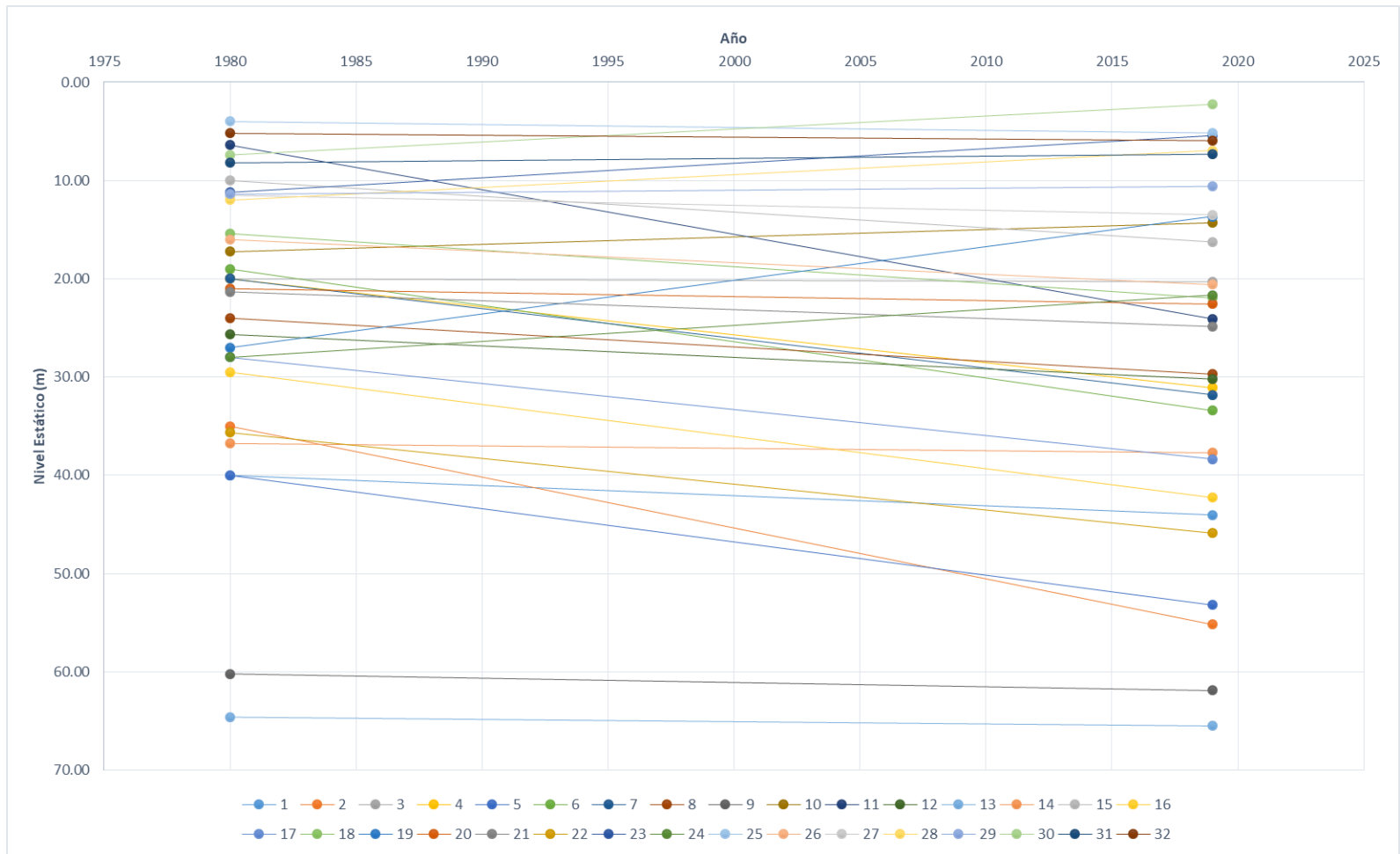


Figura 14. Tendencia de evolución gráfica de nivel estático 1980-2019

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

De acuerdo a los niveles estáticos de los años 1980, 1996, 1996 y 2003 y 2019, el Hidrograma (Figura 15) muestra una tendencia general de disminución del nivel estático de 1980 a 2019. La línea de tendencia y su ecuación generada con el hidrograma (Figura 16) indica una pendiente de 0.0994. Esto se interpreta como un abatimiento del nivel estático de 0.0994 m/año, equivalente a 9.94 cm/año. Este valor es similar al obtenido con la diferencia de niveles estáticos de los años 1980 y 2019 (Cuadro 9), dividido por los años del periodo (39 años), con el cual se obtuvo un abatimiento de 0.1003 m/año, o 10.03 cm/año; por lo que se considera que hay un abatimiento promedio de 0.1 m/año o 10 cm/año en el acuífero Atlixco Izúcar de Matamoros. Para otros acuíferos se han reportado tasa de abatimiento mayor. Muñoz (2015) estimó para el acuífero del Valle de Puebla – Alto Atoyac, cercano al acuífero de estudio, un abatimiento de 0.99 m/año; Romero et al. (2017) estimaron un abatimiento medio de los niveles estáticos del acuífero Valle de Celaya de 1.77 m/año; mientras que para 18 acuíferos del estado de Guanajuato se reportó una disminución de los niveles estáticos de 0.5 a 3 m/año (Acevedo, 2004).

El cambio de almacenamiento para el periodo analizado se estimó en 5 181 498 m<sup>3</sup>. Este volumen representó la cantidad de agua que anualmente se extrae de más y que causa la disminución del nivel estático del acuífero Atlixco –Izúcar de Matamoros. El nivel de abatimiento promedio para el acuífero es aún pequeño, comparado con el reportado para otros acuíferos del país, la presencia de abatimiento indica que se está en el inicio de un proceso de sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo del acuífero y se requieren medidas inmediatas para que el problema no aumente.

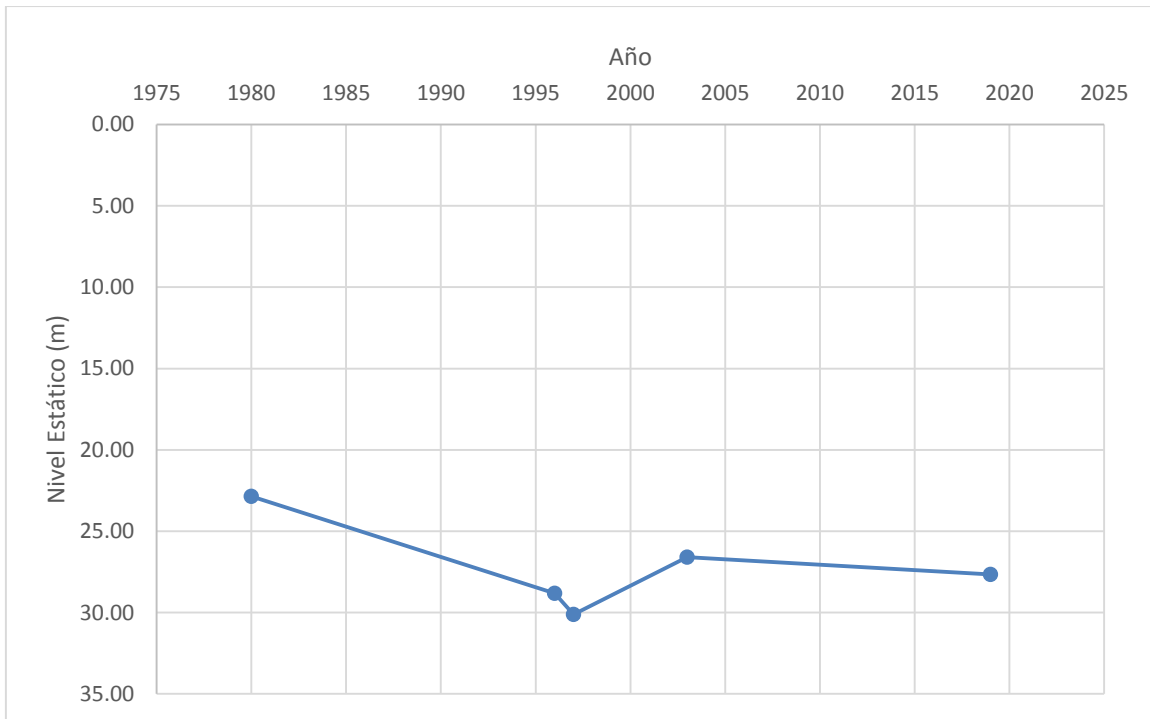


Figura 15. Hidrograma del nivel estático del Acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros 1980-2019.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

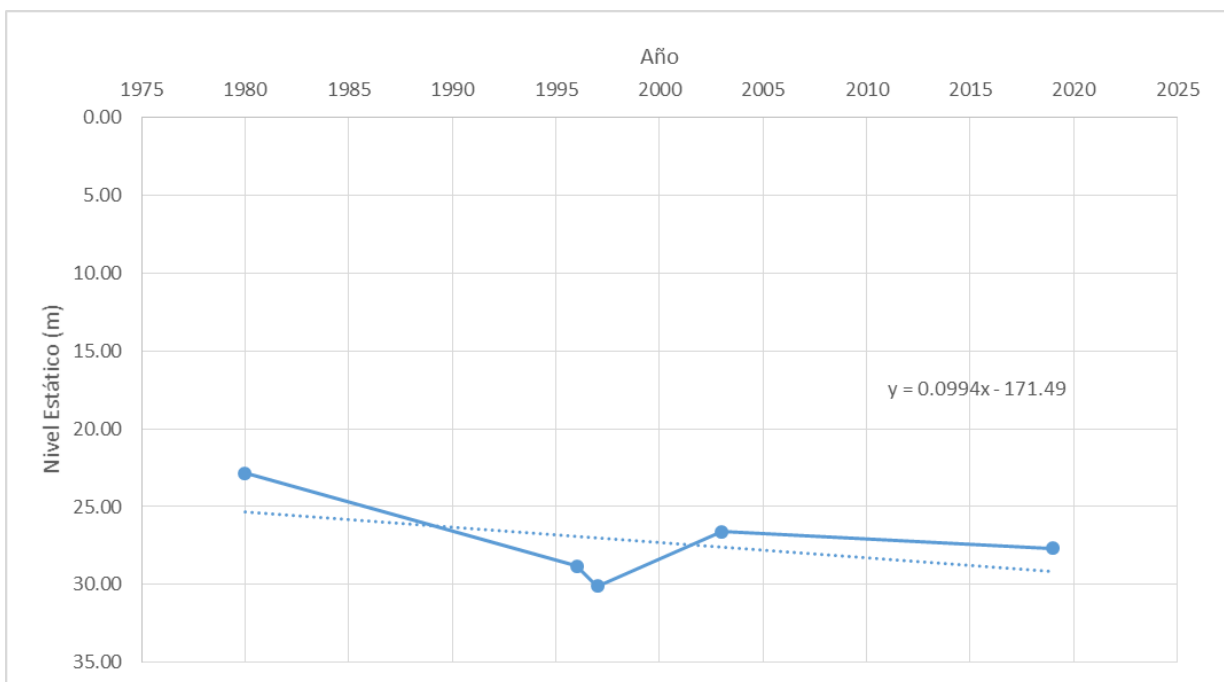


Figura 16. Línea de tendencia de nivel estático y tasa de abatimiento.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.



Cuadro 9. Tasa se abatimiento calculado aritméticamente.

No.	LOCALIDAD	AÑO DE MEDICION					DIFERENCIA (1980-2019)
		1980	1996	1997	2003	2019	
1	Pozo 5 Soc.Hueyactepampa	40.00	39.25	44.80	40.04	44.02	-4.02
2	Pozo 1 Tlaxtitla Media Luna	35.00	53.20	52.60	53.17	55.18	-20.18
3	Sec. Champusco	20.00	29.20	31.00	30.77	20.3	-0.30
4	Cacaloxuchil	20.00	23.95	25.06	29.76	31.1	-11.10
5	Progreso (Pozo 1 el Girasol)	40.00	53.00	53.65	53.10	53.2	-13.20
6	Soto y Gama	19.00	45.20	45.30	31.36	33.41	-14.41
7	T. de Bonilla	20.00	36.00	36.20	28.77	31.8	-11.80
8	Sociedad Bonilla	24.00	29.15	29.16	28.43	29.71	-5.71
9	S. J. Teacalco	60.20	62.70	63.50	63.26	61.9	-1.70
10	Tepetzingo (Rancho Tlaloc)	17.25	21.40		27.60	14.3	2.95
11	Santo Tomas	6.40	29.80	30.00	30.66	24.08	-17.68
12	Pozo 13 Tenextepec	25.66	58.60		30.48	30.2	-4.54
13	Rancho Guadalupe	64.60	57.20	57.60	57.44	65.5	-0.90
14	La Nopalera	36.75	47.30	46.85		37.71	-0.96
15	La Trinidad Tepango Pozo 5	10.00	17.20	17.70	16.92	16.25	-6.25
16	Castillotla	29.50	47.80	46.80		42.26	-12.76
17	La Trinidad Tepango Pozo 9	28.00	45.60	46.50		38.33	-10.33
18	La Sabana	15.40	20.55	21.22	21.82	21.96	-6.56
19	Sta. Ana Coatepec	27.00	11.95	11.70	12.33	13.64	13.36
20	Col. Independencia	21.00	31.40	31.10		22.57	-1.57
21	Tepeojuma	21.32	22.00	23.37	24.13	24.85	-2.85
22	Ej. Acapulco 1	35.65	48.35	50.37	50.52	45.88	-10.23
23	Sta. Lucía Cosamaloapan	11.20	4.00	4.70	3.64	5.42	5.78
24	Pozo 1 Rosalino F. J.	28.00	16.10	15.85	19.97	21.64	6.36
25	Alchichica	4.00	3.75	4.10	2.84	5.16	-1.16
26	El Milagro	16.00	13.30	25.40		20.6	-4.60
27	Sociedad	11.50	13.40	16.57		13.48	-1.98
28	San Antonio	12.00	8.00	16.06	5.85	6.93	5.07
29	Paraje Loma la Cruz	11.40	9.40		10.10	10.59	0.81
30	Campo Dep. Tlancuitalpan	7.40	7.20	7.60	5.37	2.24	5.16
31	Matzaco Pozo 3	8.20	10.00	12.79	8.98	7.32	0.88
32	Compuertas	5.20	6.00	5.90	4.26	5.94	-0.74
					Suma total		-125.16
					Promedio		-3.91
					Abatimiento		-0.1003

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y datos tomados en campo 2019.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

Con base en los resultados del estudio, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

En el acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros aún se tiene una disponibilidad de agua regional suficiente para satisfacer a los usuarios que demandan el recurso hídrico, aunque se muestra una tendencia de la intensidad de uso de agua per cápita que indica que el crecimiento poblacional es un factor que presionará cada vez más la extracción del agua subterránea del acuífero.

En el acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros se tiene una variación espacial en los cambios de los niveles estáticos de los pozos de monitoreo, identificándose áreas con recuperación del nivel freático y otras con abatimiento, aunque la tendencia promedio es el abatimiento de los niveles estáticos.

A nivel regional, en el acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros se tiene una tasa de abatimiento del nivel estático de  $0.1003 \text{ m}^3/\text{año}$ . Esta tasa es baja comparada con otros acuíferos del país, pero indica que el acuífero ya está en una fase inicial de sobreexplotación.

El cambio de almacenamiento promedio del acuífero Atlixco – Izúcar de Matamoros es de  $5\,181\,498 \text{ m}^3$ , cantidad que se extrae de más anualmente y que causa la sobreexplotación del acuífero.

### **6.2. Recomendaciones**

Se sugieren las siguientes recomendaciones

Realizar un balance de aguas subterráneas en el acuífero con todos los componentes y compararlo con un modelo de flujo. Esto es importante para la cuantificación de la extracción de agua y el tipo de agua que se extrae, ya sea de recarga natural del acuífero o del agua almacenada en el acuífero, también llamada agua fósil.

Realizar estudios para calcular la transmisibilidad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S) para el acuífero. Esto permitirá tener mayor precisión en las estimaciones, ya que permitirán hacer cálculos con información más precisa de las características físicas del acuífero.

Tomar medidas preventivas y restrictivas para la asignación de nuevas concesiones de agua subterránea en el acuífero. En caso de no hacerlo, se corre el riesgo de que en el futuro aumente la tasa de abatimiento del acuífero y se agudice el problema de sobreexplotación del acuífero.

## 7. LITERATURA CITADA

- Arreguín, F.I., M. López, O. Escolero y C. Gutiérrez. 2017. Línea de investigación y desarrollo tecnológico en materia de aguas subterráneas. En: Escolero, O., C. Gutiérrez y E.Y. Mendoza (eds.) Manejo de la recarga hídrica de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica. Pp. 47-63. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Acevedo, B.T. 2004. Evolución del abatimiento en el nivel estático de los acuíferos de Guanajuato. Aqua forum, 3-7. Disponible en: [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/07/aqua\\_gto.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/07/aqua_gto.pdf)
- Bergkamp, G. y K. Cross. 2006. Groundwater and ecosystem services: Towards their sustainable use. In Proceedings of International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS), Alicante, Spain, 24-27 June 2006.
- Bosmans, J.H., L.P. H. van Beek, E.H. Sutanudjaja y M.F.P. Bierkens. 2017. Hydrological impacts of global land cover change and human water use. Hydrology and Earth System Sciences, 21: 5603-5626.
- Chávez, A.R. y A. Flores. 1992. Optimización de bombeo en el acuífero de Villa de Reyes, San Luis Potosí. Ingeniería Hidráulica en México, enero – abril: 99-107. Disponible en: <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/issue/view/67>.
- CONAGUA. 2014. Estadísticas del agua en México, edición 2014. Comisión Nacional del Agua. México. 239 p. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>.
- CONAGUA. 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros (2013), estado de Puebla. México. 23 p.

Disponible en:

[https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/puebla/DR\\_2103.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/puebla/DR_2103.pdf).

CONAGUA. 2016. Estadísticas del agua en México, edición 2016. Comisión Nacional del Agua. México. 282 p. Disponible en: [http://201.116.60.25/publicaciones/EAM\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf).

CONAGUA. 2018. Estadísticas del agua en México 2018. Comisión Nacional del Agua. México. 303 p. Disponible en: [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf).

DANE. S.f. Hoja metodológica de indicadores cuenta satélite ambiental. Intensidad en el uso de agua per cápita. En línea. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas\\_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-de-flujos-del-agua/intensidad-hidrica-percapita/hoja-metodologica-intensidad-hidrica-percapita.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-de-flujos-del-agua/intensidad-hidrica-percapita/hoja-metodologica-intensidad-hidrica-percapita.pdf).

Dankjaer, S. y R. Taylor. 2017. The measurement of water scarcity: defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46: 513-531. DOI 10.1007/s13280-017-0912-z.

Díaz, C.R.E., L.C. Bravo, L.C. Alatorre, E. Sánchez. 2013. Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Investigaciones Geográficas*, 82: 93-103. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.32452](https://doi.org/10.14350/rig.32452).

Díaz, C.R.E., L.C. Bravo, L.C. Alatorre, E. Sánchez. 2014. Análisis espacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México. *Investigaciones Geográficas*, 83: 116 – 130. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.32694](https://doi.org/10.14350/rig.32694).

- DOF. 1992. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992. Diario Oficial de la Federación del 1 de diciembre de 1992. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_060120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf).
- DOF. 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado. Diario Oficial de la Federación del 12 de mayo de 2001. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=756719&fecha=05/12/2001](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=756719&fecha=05/12/2001).
- DOF. 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario oficial de la Federación del 17 de abril de 2002. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=734510&fecha=17/04/2002](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=734510&fecha=17/04/2002).
- DOF. 2015. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación del 4 de abril de 2015. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015).
- DOF. 2016. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, clave 2103, en el Estado de Puebla, Región Hidrológico-Administrativa Balsas. Diario Oficial de la Federación del 16 de junio de 2016. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5441031&fecha=13/06/2016](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5441031&fecha=13/06/2016).

DOF. 2018. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las Regiones Hidrológico-Administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación del 4 de enero de 2018. Disponible en: [http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018).

DOF. 2020. DECRETO por el que se reforma el primer párrafo del artículo 120 y se adiciona una fracción VI Bis al artículo 88 Bis, de la Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 2020. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_060120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf).

Escobar-Villagrán, B.S., y O.L. Palacios-Vélez. 2012. Análisis de la sobreexplotación del acuífero Texcoco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, III(2): 67-84.

Foster, S.S.D. 2001. The interdependence of groundwater and urbanization in rapidly developing cities. *Urban Water*, 3: 185-192.

Gómez, L. 2011. Un espacio para la investigación documental. *Revista Vanguardia Psicológica*, 1(2): 226-233. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4815129>.

Griebler, C., H. Stein, C. Kellermann, S. Berkhoff, H. Brielmann, S. Schmidt, D. Selesi, C. Steube, A. Fuchs y H.J. Hahn. 2010. Ecological assessment of groundwater ecosystems – Vision or illusion? *Ecological Engineering*, 36: 1174-1190.

Haddeland, I., J. Heinke, H. Biemans, S. Eisner, M. Flörke, N. Hanasaki, M. Konzmann, F. Ludwig, Y. Masaki, J. Schewe, T. Stacke, Z. D. Tessler, Y. Wada y D. Wisser. 2014. Global water resources affected by human interventions and climate change. *PNAS* 111(9): 3251-3256.

IGRAC. 2018. Groundwater overview making the invisible visible. Disponible en: <https://www.unwater.org/publications/groundwater-overview-making-the-invisible-visible/>.

Karamouz, M., A. Ahmadi y M. Akhbari. 2011. Groundwater hydrology engineering, planning, and management. CRC Press. Boca Raton, FL. 634 p.

Kummu, M., J.H.A. Guillaume, H. de Moel, S. Eisner, M. Flörke, M. Porkka. S. Siebert, T.I. Veldkamp y P.J. Ward. 2016. The world's water scarcity: shortage and stress in the 20<sup>th</sup> century and pathways towards sustainability. Scientific Reports, 6:38495. DOI: 10.1038/srep38495.

Martínez. L.C., N. Hernández-Mora y M.R. 2000. El uso sostenible de las aguas subterráneas. Fundación Marcelino Botín. Madrid, España. 54 p.

Mays, L.W. 2013. Groundwater sustainability: Past, present, and future. Water Resources Management, 27: 4409-4424.

MacGrane, S.J. 2016. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review, Hydrological Sciences Journal, 61:13, 2295-2311. DOI: 10.1080/02626667.2015.1128084

Mekonnen, M.M. y A. Y. Koekstra. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2: e1500323. DOI: 10.1126/sciadv.1500323.

Muñoz. I.M. 2015. Cambio del uso del suelo y modelación hidrogeológica del acuífero del Valle de Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. 169 p.



- Neri, F.I. 2009. El agua subterránea: el agua que no vemos. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana, XXII(1): 1-3.  
Disponible en:  
<https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol22num1/articulos/agua/index.html>.
- Pardo, A. y M.A. Ruiz. 2002. SPSS 1 Guía para el análisis de datos. McGrawHill. España.
- Peña, S.A. 2015. Introducción al agua subterránea. Proyectos, Estudios y Sistemas, S.A. de C.V. México. 254 p.
- Price, M. 2012. Agua subterránea. Editorial LIMUSA. México. 330 p.
- Raiz, E. 1964. Landforms of Mexico. Prepared by the Geography Branch of the Office of Naval Research, Cambridge Massachussets USA, scale 1:3'500,000.
- REPDA. 2018. Títulos y permisos de aguas nacionales y bienes públicos inherentes. <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>.
- Romero, J.H., O.L. Palacios y B.S. Escobar. 2017. Estimación de la sobreexplotación producida en el acuífero Valle de Celaya (México). Tecnología y Ciencias del Agua, 8(4): 127-138. DOI: <http://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-08>.
- Sahuquillo, A.H. 2009. La importancia de las aguas subterráneas. Rev. R. Acad. Cienc. Fis. Nat., 103(1): 97-114.
- Tinajero, G.J.A. 1982. Aspectos fundamentales en el estudio de agua subterránea (Geohidrología). Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México, D.F. 232 p.

Tood, D.K. y L.W. Mays. 2004. Groundwater hydrology. Third edition. John Wiley & Sons Inc. 656 p. <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1223/pdf/C1223.pdf>.

USGS. 2002. Concepts for national assessment of water availability and use. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Circular 1223. Reston, Virginia. 34 p. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1223/pdf/C1223.pdf>.

Vörösmarty, C. y D. Sahagian. 2000. Disturbance of the terrestrial water cycle. *Bioscience*, 50(9): 753-765).

Werner, J. 1996. Introducción a la hidrogeología. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Zektser, I.S. y L.G. Everett. 2004. Groundwater resources of the world and their use. IHP-VI, Series on Groundwater No. 6. 342 p.

### ANEXO 1. Prueba de Games-Howell

(I) ID_Pozos	(J) ID_Pozos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
P1	P2	-8.208	3.907	.813	-32.10	15.69
	P3	15.368	2.764	.054	-.29	31.03
	P4	15.648 <sup>*</sup>	2.322	.016	3.14	28.16
	P5	-8.968	2.890	.422	-25.54	7.60
	P6	6.768	5.042	.986	-25.18	38.72
	P7	11.068	3.196	.323	-7.71	29.84
	P8	13.532 <sup>*</sup>	1.555	.002	5.75	21.31
	P9	-20.690 <sup>*</sup>	1.298	.000	-27.85	-13.53
	P10	9.554	4.716	.837	-20.10	39.20
	P11	17.434	4.744	.293	-12.42	47.28
	P12	-18.846 <sup>*</sup>	2.203	.004	-30.53	-7.16
	P13	26.008 <sup>*</sup>	1.832	.000	16.75	35.26
	P14	21.432 <sup>*</sup>	1.681	.000	13.04	29.83
	P15	26.298 <sup>*</sup>	3.156	.010	7.81	44.79
	P16	-4.532	2.989	.972	-21.81	12.75
	P17	35.830 <sup>*</sup>	1.803	.000	26.75	44.91
	P18	21.310 <sup>*</sup>	2.502	.006	7.52	35.10
	P19	37.652 <sup>*</sup>	1.212	.000	30.29	45.01
	P20	31.854 <sup>*</sup>	2.210	.000	20.12	43.59
	P21	35.660 <sup>*</sup>	1.535	.000	27.97	43.35
	P22	32.164 <sup>*</sup>	1.490	.000	24.64	39.68
	P23	36.162 <sup>*</sup>	1.201	.000	28.75	43.58
	P2	P1	8.208	3.907	.813	-15.69
P3		23.576 <sup>*</sup>	4.499	.048	.15	47.00
P4		23.856 <sup>*</sup>	4.242	.044	.69	47.02
P5		-.760	4.578	1.000	-24.36	22.84
P6		14.976	6.167	.685	-16.45	46.40
P7		19.276	4.777	.149	-4.90	43.46
P8		21.740	3.876	.073	-2.32	45.80
P9		-12.482	3.780	.393	-37.17	12.20
P10		17.762	5.903	.425	-12.04	47.56
P11		25.642	5.926	.108	-4.30	55.58
P12		-10.638	4.179	.634	-33.83	12.55
P13		34.216 <sup>*</sup>	3.995	.010	10.67	57.76
P14		29.640 <sup>*</sup>	3.928	.020	5.84	53.44
P15		34.506 <sup>*</sup>	4.751	.006	10.41	58.60
P16		3.676	4.641	1.000	-20.08	27.44
P17		44.038 <sup>*</sup>	3.982	.003	20.45	67.63
P18		29.518 <sup>*</sup>	4.344	.015	6.31	52.72
P19		45.860 <sup>*</sup>	3.752	.005	20.94	70.78
P20		40.062 <sup>*</sup>	4.182	.003	16.87	63.25
P21		43.868 <sup>*</sup>	3.868	.004	19.77	67.97
P22		40.372 <sup>*</sup>	3.850	.006	16.17	64.58

	P23	44.370'	3.748	.006	19.42	69.32
P3	P1	-15.368	2.764	.054	-31.03	.29
	P2	-23.576'	4.499	.048	-47.00	-.15
	P4	.280	3.220	1.000	-16.01	16.57
	P5	-24.336'	3.651	.009	-42.56	-6.11
	P6	-8.600	5.513	.969	-39.08	21.88
	P7	-4.300	3.898	.999	-23.91	15.31
	P8	-1.836	2.719	1.000	-17.59	13.91
	P9	-36.058'	2.581	.002	-52.40	-19.72
	P10	-5.814	5.217	.999	-34.19	22.56
	P11	2.066	5.243	1.000	-26.49	30.62
	P12	-34.214'	3.136	.000	-50.24	-18.19
	P13	10.640	2.887	.241	-4.95	26.23
	P14	6.064	2.794	.792	-9.55	21.68
	P15	10.930	3.865	.500	-8.49	30.35
	P16	-19.900'	3.730	.035	-38.55	-1.25
	P17	20.462'	2.869	.013	4.88	36.05
	P18	5.942	3.353	.937	-10.85	22.74
	P19	22.284'	2.539	.017	5.64	38.93
	P20	16.486'	3.141	.043	.45	32.52
	P21	20.292'	2.708	.017	4.51	36.07
	P22	16.796'	2.683	.039	.94	32.65
	P23	20.794'	2.534	.022	4.11	37.48
P4	P1	-15.648'	2.322	.016	-28.16	-3.14
	P2	-23.856'	4.242	.044	-47.02	-.69
	P3	-.280	3.220	1.000	-16.57	16.01
	P5	-24.616'	3.329	.006	-41.58	-7.65
	P6	-8.880	5.306	.945	-39.68	21.92
	P7	-4.580	3.598	.996	-23.29	14.13
	P8	-2.116	2.269	1.000	-14.63	10.40
	P9	-36.338'	2.101	.001	-49.28	-23.40
	P10	-6.094	4.997	.996	-34.67	22.48
	P11	1.786	5.024	1.000	-26.98	30.55
	P12	-34.494'	2.754	.000	-48.25	-20.74
	P13	10.360	2.467	.132	-2.37	23.09
	P14	5.784	2.357	.674	-6.75	18.32
	P15	10.650	3.563	.440	-7.83	29.13
	P16	-20.180'	3.415	.023	-37.70	-2.66
	P17	20.182'	2.446	.004	7.50	32.86
	P18	5.662	2.999	.906	-9.34	20.66
	P19	22.004'	2.049	.007	8.74	35.27
	P20	16.206'	2.760	.020	2.42	29.99
	P21	20.012'	2.255	.005	7.49	32.53
	P22	16.516'	2.225	.014	3.96	29.07
	P23	20.514'	2.043	.010	7.20	33.83
P5	P1	8.968	2.890	.422	-7.60	25.54
	P2	.760	4.578	1.000	-22.84	24.36

	P3	24.336'	3.651	.009	6.11	42.56
	P4	24.616'	3.329	.006	7.65	41.58
	P6	15.736	5.578	.517	-14.72	46.19
	P7	20.036'	3.988	.049	.06	40.01
	P8	22.500'	2.848	.013	5.82	39.18
	P9	-11.722	2.716	.188	-29.01	5.57
	P10	18.522	5.285	.283	-9.88	46.92
	P11	26.402	5.310	.072	-2.17	54.98
	P12	-9.878	3.247	.418	-26.62	6.87
	P13	34.976'	3.008	.001	18.53	51.42
	P14	30.400'	2.919	.003	13.88	46.92
	P15	35.266'	3.957	.001	15.47	55.06
	P16	4.436	3.824	.999	-14.65	23.52
	P17	44.798'	2.990	.000	28.35	61.25
	P18	30.278'	3.457	.002	12.87	47.68
	P19	46.620'	2.676	.001	29.04	64.20
	P20	40.822'	3.252	.000	24.07	57.58
	P21	44.628'	2.837	.001	27.92	61.34
	P22	41.132'	2.813	.001	24.34	57.92
	P23	45.130'	2.671	.001	27.51	62.75
P6	P1	-6.768	5.042	.986	-38.72	25.18
	P2	-14.976	6.167	.685	-46.40	16.45
	P3	8.600	5.513	.969	-21.88	39.08
	P4	8.880	5.306	.945	-21.92	39.68
	P5	-15.736	5.578	.517	-46.19	14.72
	P7	4.300	5.742	1.000	-26.24	34.84
	P8	6.764	5.018	.986	-25.34	38.87
	P9	-27.458	4.944	.091	-60.12	5.21
	P10	2.786	6.708	1.000	-30.72	36.29
	P11	10.666	6.728	.973	-22.93	44.26
	P12	-25.614	5.255	.105	-56.56	5.33
	P13	19.240	5.110	.269	-12.31	50.79
	P14	14.664	5.058	.509	-17.18	46.51
	P15	19.530	5.720	.305	-10.98	50.04
	P16	-11.300	5.630	.857	-41.76	19.16
	P17	29.062	5.100	.069	-2.54	60.67
	P18	14.542	5.387	.571	-16.08	45.17
	P19	30.884	4.922	.062	-1.97	63.74
	P20	25.086	5.258	.114	-5.85	56.02
	P21	28.892	5.011	.073	-3.26	61.04
	P22	25.396	4.998	.115	-6.85	57.64
	P23	29.394	4.919	.073	-3.48	62.27
P7	P1	-11.068	3.196	.323	-29.84	7.71
	P2	-19.276	4.777	.149	-43.46	4.90
	P3	4.300	3.898	.999	-15.31	23.91
	P4	4.580	3.598	.996	-14.13	23.29
	P5	-20.036'	3.988	.049	-40.01	-.06

	P6	-4.300	5.742	1.000	-34.84	26.24
	P8	2.464	3.157	1.000	-16.45	21.37
	P9	-31.758'	3.039	.008	-51.31	-12.21
	P10	-1.514	5.458	1.000	-30.11	27.08
	P11	6.366	5.483	.998	-22.40	35.13
	P12	-29.914'	3.522	.004	-48.50	-11.33
	P13	14.940	3.303	.123	-3.61	33.49
	P14	10.364	3.222	.389	-8.34	29.07
	P15	15.230	4.185	.221	-5.64	36.10
	P16	-15.600	4.060	.178	-35.89	4.69
	P17	24.762'	3.287	.013	6.19	43.33
	P18	10.242	3.717	.535	-8.76	29.24
	P19	26.584'	3.003	.017	6.76	46.41
	P20	20.786'	3.527	.028	2.20	39.38
	P21	24.592'	3.148	.017	5.64	43.54
	P22	21.096'	3.126	.033	2.05	40.14
	P23	25.094'	2.999	.021	5.23	44.96
P8	P1	-13.532'	1.555	.002	-21.31	-5.75
	P2	-21.740	3.876	.073	-45.80	2.32
	P3	1.836	2.719	1.000	-13.91	17.59
	P4	2.116	2.269	1.000	-10.40	14.63
	P5	-22.500'	2.848	.013	-39.18	-5.82
	P6	-6.764	5.018	.986	-38.87	25.34
	P7	-2.464	3.157	1.000	-21.37	16.45
	P9	-34.222'	1.201	.000	-40.69	-27.75
	P10	-3.978	4.690	1.000	-33.79	25.83
	P11	3.902	4.719	1.000	-26.11	33.91
	P12	-32.378'	2.147	.000	-44.03	-20.73
	P13	12.476'	1.764	.008	3.43	21.52
	P14	7.900	1.607	.056	-.18	15.98
	P15	12.766	3.118	.199	-5.86	31.39
	P16	-18.064'	2.948	.043	-35.46	-.66
	P17	22.298'	1.734	.000	13.44	31.15
	P18	7.778	2.453	.396	-6.05	21.61
	P19	24.120'	1.107	.000	17.51	30.73
	P20	18.322'	2.155	.005	6.62	30.02
	P21	22.128'	1.453	.000	14.88	29.38
	P22	18.632'	1.406	.000	11.60	25.66
	P23	22.630'	1.095	.000	15.97	29.29
P9	P1	20.690'	1.298	.000	13.53	27.85
	P2	12.482	3.780	.393	-12.20	37.17
	P3	36.058'	2.581	.002	19.72	52.40
	P4	36.338'	2.101	.001	23.40	49.28
	P5	11.722	2.716	.188	-5.57	29.01
	P6	27.458	4.944	.091	-5.21	60.12
	P7	31.758'	3.039	.008	12.21	51.31
	P8	34.222'	1.201	.000	27.75	40.69

	P10	30.244	4.612	.051	-.15	60.64
	P11	38.124'	4.640	.022	7.53	68.71
	P12	1.844	1.969	1.000	-10.15	13.84
	P13	46.698'	1.542	.000	37.78	55.62
	P14	42.122'	1.360	.000	34.52	49.73
	P15	46.988'	2.998	.001	27.73	66.25
	P16	16.158	2.821	.074	-1.87	34.18
	P17	56.520'	1.508	.000	47.85	65.19
	P18	42.000'	2.299	.001	27.65	56.35
	P19	58.342'	.702	.000	54.63	62.05
	P20	52.544'	1.977	.000	40.49	64.59
	P21	56.350'	1.174	.000	50.06	62.64
	P22	52.854'	1.115	.000	46.97	58.73
	P23	56.852'	.682	.000	53.16	60.55
P10	P1	-9.554	4.716	.837	-39.20	20.10
	P2	-17.762	5.903	.425	-47.56	12.04
	P3	5.814	5.217	.999	-22.56	34.19
	P4	6.094	4.997	.996	-22.48	34.67
	P5	-18.522	5.285	.283	-46.92	9.88
	P6	-2.786	6.708	1.000	-36.29	30.72
	P7	1.514	5.458	1.000	-27.08	30.11
	P8	3.978	4.690	1.000	-25.83	33.79
	P9	-30.244	4.612	.051	-60.64	.15
	P11	7.880	6.488	.998	-24.48	40.24
	P12	-28.400	4.943	.052	-57.10	.30
	P13	16.454	4.789	.341	-12.80	45.71
	P14	11.878	4.734	.654	-17.67	41.42
	P15	16.744	5.435	.409	-11.82	45.30
	P16	-14.086	5.340	.591	-42.53	14.35
	P17	26.276	4.778	.076	-3.03	55.58
	P18	11.756	5.084	.734	-16.68	40.20
	P19	28.098	4.588	.067	-2.49	58.69
	P20	22.300	4.946	.135	-6.39	50.99
	P21	26.106	4.684	.081	-3.75	55.96
	P22	22.610	4.669	.133	-7.35	52.57
	P23	26.608	4.585	.081	-4.01	57.23
P11	P1	-17.434	4.744	.293	-47.28	12.42
	P2	-25.642	5.926	.108	-55.58	4.30
	P3	-2.066	5.243	1.000	-30.62	26.49
	P4	-1.786	5.024	1.000	-30.55	26.98
	P5	-26.402	5.310	.072	-54.98	2.17
	P6	-10.666	6.728	.973	-44.26	22.93
	P7	-6.366	5.483	.998	-35.13	22.40
	P8	-3.902	4.719	1.000	-33.91	26.11
	P9	-38.124'	4.640	.022	-68.71	-7.53
	P10	-7.880	6.488	.998	-40.24	24.48
	P12	-36.280'	4.970	.018	-65.17	-7.39

	P13	8.574	4.817	.915	-20.88	38.03
	P14	3.998	4.762	1.000	-25.75	33.74
	P15	8.864	5.460	.963	-19.86	37.59
	P16	-21.966	5.365	.160	-50.58	6.65
	P17	18.396	4.806	.255	-11.11	47.90
	P18	3.876	5.110	1.000	-24.75	32.51
	P19	20.218	4.617	.193	-10.57	51.01
	P20	14.420	4.973	.497	-14.46	43.30
	P21	18.226	4.712	.259	-11.83	48.28
	P22	14.730	4.698	.436	-15.42	44.88
	P23	18.728	4.614	.239	-12.09	49.54
P12	P1	18.846'	2.203	.004	7.16	30.53
	P2	10.638	4.179	.634	-12.55	33.83
	P3	34.214'	3.136	.000	18.19	50.24
	P4	34.494'	2.754	.000	20.74	48.25
	P5	9.878	3.247	.418	-6.87	26.62
	P6	25.614	5.255	.105	-5.33	56.56
	P7	29.914'	3.522	.004	11.33	48.50
	P8	32.378'	2.147	.000	20.73	44.03
	P9	-1.844	1.969	1.000	-13.84	10.15
	P10	28.400	4.943	.052	-3.0	57.10
	P11	36.280'	4.970	.018	7.39	65.17
	P13	44.854'	2.355	.000	32.84	56.86
	P14	40.278'	2.240	.000	28.54	52.02
	P15	45.144'	3.487	.000	26.80	63.48
	P16	14.314	3.336	.123	-3.01	31.64
	P17	54.676'	2.333	.000	42.73	66.62
	P18	40.156'	2.908	.000	25.53	54.78
	P19	56.498'	1.913	.000	44.18	68.82
	P20	50.700'	2.661	.000	37.43	63.97
	P21	54.506'	2.133	.000	42.86	66.15
	P22	51.010'	2.101	.000	39.35	62.67
	P23	55.008'	1.906	.000	42.64	67.38
P13	P1	-26.008'	1.832	.000	-35.26	-16.75
	P2	-34.216'	3.995	.010	-57.76	-10.67
	P3	-10.640	2.887	.241	-26.23	4.95
	P4	-10.360	2.467	.132	-23.09	2.37
	P5	-34.976'	3.008	.001	-51.42	-18.53
	P6	-19.240	5.110	.269	-50.79	12.31
	P7	-14.940	3.303	.123	-33.49	3.61
	P8	-12.476'	1.764	.008	-21.52	-3.43
	P9	-46.698'	1.542	.000	-55.62	-37.78
	P10	-16.454	4.789	.341	-45.71	12.80
	P11	-8.574	4.817	.915	-38.03	20.88
	P12	-44.854'	2.355	.000	-56.86	-32.84
	P14	-4.576	1.876	.680	-14.00	4.85
	P15	.290	3.265	1.000	-17.98	18.56



	P16	-30.540'	3.103	.003	-47.66	-13.42
	P17	9.822	1.986	.052	-.09	19.73
	P18	-4.698	2.638	.930	-18.56	9.17
	P19	11.644'	1.471	.020	2.44	20.85
	P20	5.846	2.362	.663	-6.21	17.90
	P21	9.652'	1.746	.035	.66	18.65
	P22	6.156	1.707	.247	-2.76	15.07
	P23	10.154'	1.461	.035	.89	19.42
P14	P1	-21.432'	1.681	.000	-29.83	-13.04
	P2	-29.640'	3.928	.020	-53.44	-5.84
	P3	-6.064	2.794	.792	-21.68	9.55
	P4	-5.784	2.357	.674	-18.32	6.75
	P5	-30.400'	2.919	.003	-46.92	-13.88
	P6	-14.664	5.058	.509	-46.51	17.18
	P7	-10.364	3.222	.389	-29.07	8.34
	P8	-7.900	1.607	.056	-15.98	.18
	P9	-42.122'	1.360	.000	-49.73	-34.52
	P10	-11.878	4.734	.654	-41.42	17.67
	P11	-3.998	4.762	1.000	-33.74	25.75
	P12	-40.278'	2.240	.000	-52.02	-28.54
	P13	4.576	1.876	.680	-4.85	14.00
	P15	4.866	3.183	.970	-13.55	23.29
	P16	-25.964'	3.017	.007	-43.19	-8.74
	P17	14.398'	1.849	.003	5.14	23.66
	P18	-.122	2.535	1.000	-13.90	13.66
	P19	16.220'	1.278	.002	8.38	24.06
	P20	10.422	2.248	.090	-1.36	22.21
	P21	14.228'	1.588	.001	6.23	22.23
	P22	10.732'	1.544	.008	2.88	18.59
	P23	14.730'	1.268	.004	6.84	22.62
P15	P1	-26.298'	3.156	.010	-44.79	-7.81
	P2	-34.506'	4.751	.006	-58.60	-10.41
	P3	-10.930	3.865	.500	-30.35	8.49
	P4	-10.650	3.563	.440	-29.13	7.83
	P5	-35.266'	3.957	.001	-55.06	-15.47
	P6	-19.530	5.720	.305	-50.04	10.98
	P7	-15.230	4.185	.221	-36.10	5.64
	P8	-12.766	3.118	.199	-31.39	5.86
	P9	-46.988'	2.998	.001	-66.25	-27.73
	P10	-16.744	5.435	.409	-45.30	11.82
	P11	-8.864	5.460	.963	-37.59	19.86
	P12	-45.144'	3.487	.000	-63.48	-26.80
	P13	-.290	3.265	1.000	-18.56	17.98
	P14	-4.866	3.183	.970	-23.29	13.55
	P16	-30.830'	4.029	.004	-50.95	-10.71
	P17	9.532	3.249	.478	-8.76	27.83
	P18	-4.988	3.683	.993	-23.77	13.80

	P19	11.354	2.961	.274	-8.18	30.89
	P20	5.556	3.491	.968	-12.79	23.90
	P21	9.362	3.108	.463	-9.30	28.02
	P22	5.866	3.086	.881	-12.89	24.62
	P23	9.864	2.957	.387	-9.71	29.44
P16	P1	4.532	2.989	.972	-12.75	21.81
	P2	-3.676	4.641	1.000	-27.44	20.08
	P3	19.900'	3.730	.035	1.25	38.55
	P4	20.180'	3.415	.023	2.66	37.70
	P5	-4.436	3.824	.999	-23.52	14.65
	P6	11.300	5.630	.857	-19.16	41.76
	P7	15.600	4.060	.178	-4.69	35.89
	P8	18.064'	2.948	.043	.66	35.46
	P9	-16.158	2.821	.074	-34.18	1.87
	P10	14.086	5.340	.591	-14.35	42.53
	P11	21.966	5.365	.160	-6.65	50.58
	P12	-14.314	3.336	.123	-31.64	3.01
	P13	30.540'	3.103	.003	13.42	47.66
	P14	25.964'	3.017	.007	8.74	43.19
	P15	30.830'	4.029	.004	10.71	50.95
	P17	40.362'	3.086	.001	23.23	57.49
	P18	25.842'	3.541	.006	7.94	43.74
	P19	42.184'	2.782	.002	23.87	60.50
	P20	36.386'	3.340	.001	19.05	53.72
	P21	40.192'	2.937	.001	22.76	57.63
	P22	36.696'	2.914	.002	19.17	54.22
	P23	40.694'	2.778	.002	22.34	59.05
P17	P1	-35.830'	1.803	.000	-44.91	-26.75
	P2	-44.038'	3.982	.003	-67.63	-20.45
	P3	-20.462'	2.869	.013	-36.05	-4.88
	P4	-20.182'	2.446	.004	-32.86	-7.50
	P5	-44.798'	2.990	.000	-61.25	-28.35
	P6	-29.062	5.100	.069	-60.67	2.54
	P7	-24.762'	3.287	.013	-43.33	-6.19
	P8	-22.298'	1.734	.000	-31.15	-13.44
	P9	-56.520'	1.508	.000	-65.19	-47.85
	P10	-26.276	4.778	.076	-55.58	3.03
	P11	-18.396	4.806	.255	-47.90	11.11
	P12	-54.676'	2.333	.000	-66.62	-42.73
	P13	-9.822	1.986	.052	-19.73	.09
	P14	-14.398'	1.849	.003	-23.66	-5.14
	P15	-9.532	3.249	.478	-27.83	8.76
	P16	-40.362'	3.086	.001	-57.49	-23.23
	P18	-14.520'	2.618	.039	-28.36	-.68
	P19	1.822	1.435	.992	-7.13	10.78
	P20	-3.976	2.340	.951	-15.97	8.01
	P21	-.170	1.716	1.000	-8.97	8.63

	P22	-3.666	1.676	.792	-12.37	5.04
	P23	.332	1.426	1.000	-8.68	9.34
P18	P1	-21.310'	2.502	.006	-35.10	-7.52
	P2	-29.518'	4.344	.015	-52.72	-6.31
	P3	-5.942	3.353	.937	-22.74	10.85
	P4	-5.662	2.999	.906	-20.66	9.34
	P5	-30.278'	3.457	.002	-47.68	-12.87
	P6	-14.542	5.387	.571	-45.17	16.08
	P7	-10.242	3.717	.535	-29.24	8.76
	P8	-7.778	2.453	.396	-21.61	6.05
	P9	-42.000'	2.299	.001	-56.35	-27.65
	P10	-11.756	5.084	.734	-40.20	16.68
	P11	-3.876	5.110	1.000	-32.51	24.75
	P12	-40.156'	2.908	.000	-54.78	-25.53
	P13	4.698	2.638	.930	-9.17	18.56
	P14	.122	2.535	1.000	-13.66	13.90
	P15	4.988	3.683	.993	-13.80	23.77
	P16	-25.842'	3.541	.006	-43.74	-7.94
	P17	14.520'	2.618	.039	.68	28.36
	P19	16.342'	2.252	.034	1.68	31.01
	P20	10.544	2.913	.229	-4.10	25.19
	P21	14.350'	2.441	.043	.50	28.20
	P22	10.854	2.413	.134	-3.05	24.76
	P23	14.852'	2.246	.048	.14	29.56
P19	P1	-37.652'	1.212	.000	-45.01	-30.29
	P2	-45.860'	3.752	.005	-70.78	-20.94
	P3	-22.284'	2.539	.017	-38.93	-5.64
	P4	-22.004'	2.049	.007	-35.27	-8.74
	P5	-46.620'	2.676	.001	-64.20	-29.04
	P6	-30.884	4.922	.062	-63.74	1.97
	P7	-26.584'	3.003	.017	-46.41	-6.76
	P8	-24.120'	1.107	.000	-30.73	-17.51
	P9	-58.342'	.702	.000	-62.05	-54.63
	P10	-28.098	4.588	.067	-58.69	2.49
	P11	-20.218	4.617	.193	-51.01	10.57
	P12	-56.498'	1.913	.000	-68.82	-44.18
	P13	-11.644'	1.471	.020	-20.85	-2.44
	P14	-16.220'	1.278	.002	-24.06	-8.38
	P15	-11.354	2.961	.274	-30.89	8.18
	P16	-42.184'	2.782	.002	-60.50	-23.87
	P17	-1.822	1.435	.992	-10.78	7.13
	P18	-16.342'	2.252	.034	-31.01	-1.68
	P20	-5.798	1.922	.474	-18.17	6.58
	P21	-1.992	1.078	.899	-8.39	4.41
	P22	-5.488	1.013	.069	-11.42	.44
	P23	-1.490	.499	.432	-3.99	1.01
P20	P1	-31.854'	2.210	.000	-43.59	-20.12

	P2	-40.062'	4.182	.003	-63.25	-16.87
	P3	-16.486'	3.141	.043	-32.52	-.45
	P4	-16.206'	2.760	.020	-29.99	-2.42
	P5	-40.822'	3.252	.000	-57.58	-24.07
	P6	-25.086	5.258	.114	-56.02	5.85
	P7	-20.786'	3.527	.028	-39.38	-2.20
	P8	-18.322'	2.155	.005	-30.02	-6.62
	P9	-52.544'	1.977	.000	-64.59	-40.49
	P10	-22.300	4.946	.135	-50.99	6.39
	P11	-14.420	4.973	.497	-43.30	14.46
	P12	-50.700'	2.661	.000	-63.97	-37.43
	P13	-5.846	2.362	.663	-17.90	6.21
	P14	-10.422	2.248	.090	-22.21	1.36
	P15	-5.556	3.491	.968	-23.90	12.79
	P16	-36.386'	3.340	.001	-53.72	-19.05
	P17	3.976	2.340	.951	-8.01	15.97
	P18	-10.544	2.913	.229	-25.19	4.10
	P19	5.798	1.922	.474	-6.58	18.17
	P21	3.806	2.140	.926	-7.89	15.51
	P22	.310	2.108	1.000	-11.41	12.03
	P23	4.308	1.915	.754	-8.12	16.73
P21	P1	-35.660'	1.535	.000	-43.35	-27.97
	P2	-43.868'	3.868	.004	-67.97	-19.77
	P3	-20.292'	2.708	.017	-36.07	-4.51
	P4	-20.012'	2.255	.005	-32.53	-7.49
	P5	-44.628'	2.837	.001	-61.34	-27.92
	P6	-28.892	5.011	.073	-61.04	3.26
	P7	-24.592'	3.148	.017	-43.54	-5.64
	P8	-22.128'	1.453	.000	-29.38	-14.88
	P9	-56.350'	1.174	.000	-62.64	-50.06
	P10	-26.106	4.684	.081	-55.96	3.75
	P11	-18.226	4.712	.259	-48.28	11.83
	P12	-54.506'	2.133	.000	-66.15	-42.86
	P13	-9.652'	1.746	.035	-18.65	-.66
	P14	-14.228'	1.588	.001	-22.23	-6.23
	P15	-9.362	3.108	.463	-28.02	9.30
	P16	-40.192'	2.937	.001	-57.63	-22.76
	P17	.170	1.716	1.000	-8.63	8.97
	P18	-14.350'	2.441	.043	-28.20	-.50
	P19	1.992	1.078	.899	-4.41	8.39
	P20	-3.806	2.140	.926	-15.51	7.89
	P22	-3.496	1.383	.638	-10.40	3.41
	P23	.502	1.066	1.000	-5.95	6.95
P22	P1	-32.164'	1.490	.000	-39.68	-24.64
	P2	-40.372'	3.850	.006	-64.58	-16.17
	P3	-16.796'	2.683	.039	-32.65	-.94
	P4	-16.516'	2.225	.014	-29.07	-3.96

	P5	-41.132'	2.813	.001	-57.92	-24.34
	P6	-25.396	4.998	.115	-57.64	6.85
	P7	-21.096'	3.126	.033	-40.14	-2.05
	P8	-18.632'	1.406	.000	-25.66	-11.60
	P9	-52.854'	1.115	.000	-58.73	-46.97
	P10	-22.610	4.669	.133	-52.57	7.35
	P11	-14.730	4.698	.436	-44.88	15.42
	P12	-51.010'	2.101	.000	-62.67	-39.35
	P13	-6.156	1.707	.247	-15.07	2.76
	P14	-10.732'	1.544	.008	-18.59	-2.88
	P15	-5.866	3.086	.881	-24.62	12.89
	P16	-36.696'	2.914	.002	-54.22	-19.17
	P17	3.666	1.676	.792	-5.04	12.37
	P18	-10.854	2.413	.134	-24.76	3.05
	P19	5.488	1.013	.069	-.44	11.42
	P20	-.310	2.108	1.000	-12.03	11.41
	P21	3.496	1.383	.638	-3.41	10.40
	P23	3.998	1.000	.215	-1.98	9.98
P23	P1	-36.162'	1.201	.000	-43.58	-28.75
	P2	-44.370'	3.748	.006	-69.32	-19.42
	P3	-20.794'	2.534	.022	-37.48	-4.11
	P4	-20.514'	2.043	.010	-33.83	-7.20
	P5	-45.130'	2.671	.001	-62.75	-27.51
	P6	-29.394	4.919	.073	-62.27	3.48
	P7	-25.094'	2.999	.021	-44.96	-5.23
	P8	-22.630'	1.095	.000	-29.29	-15.97
	P9	-56.852'	.682	.000	-60.55	-53.16
	P10	-26.608	4.585	.081	-57.23	4.01
	P11	-18.728	4.614	.239	-49.54	12.09
	P12	-55.008'	1.906	.000	-67.38	-42.64
	P13	-10.154'	1.461	.035	-19.42	-.89
	P14	-14.730'	1.268	.004	-22.62	-6.84
	P15	-9.864	2.957	.387	-29.44	9.71
	P16	-40.694'	2.778	.002	-59.05	-22.34
	P17	-.332	1.426	1.000	-9.34	8.68
	P18	-14.852'	2.246	.048	-29.56	-.14
	P19	1.490	.499	.432	-1.01	3.99
	P20	-4.308	1.915	.754	-16.73	8.12
	P21	-.502	1.066	1.000	-6.95	5.95
	P22	-3.998	1.000	.215	-9.98	1.98

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.