

Los sistemas de información geográfica y el agua subterránea del estado de Puebla

José Erik Mendoza Mendoza

Introducción

La problemática hídrica actual pertenece a una de índole ambiental, en el presente trabajo se estudia el caso del agua subterránea del estado de Puebla, México; ya que el mayor porcentaje de agua que es consumida en las ciudades (y por las poblaciones) proviene principalmente de los acuíferos. Por otro lado, en el estado se ubica uno de los acuíferos más sobreexplotados del país: el acuífero Valle de Tecamachalco.

Este acuífero está dentro de las primeras tres posiciones en cuanto a su magnitud de sobreexplotación, la cual llega casi a los cincuenta millones de metros cúbicos anuales. Este artículo muestra a través de un visor geoespacial elaborado con Google Maps los polígonos de los acuíferos, ya que es importante demostrar que, aunque no son perceptibles a simple vista, los acuíferos dependen en gran medida de las condiciones superficiales que coadyuvan o perjudican los procesos de infiltración y recarga hídrica.

Los recursos hídricos se han convertido en un tema que ha cobrado relevancia en la época en actual; siguiendo esta lógica Julio Casma (2015) menciona que América del Sur es privilegiada pues concentra un elevado porcentaje de recursos hídricos; estos recursos son obtenidos a través de dos tipos de fuentes de abastecimiento, las primeras son las superficiales en las que están incluidos los ríos, lagos, lagunas y, por otro lado, están las subterráneas que son los acuíferos, de hecho el "... 70% del agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo" (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldívar y Cervantes, 2009, p.18). En México se tienen registrados 653 acuíferos de los cuales el 15.92% se encuentra en estado de sobreexplotación, es decir, el volumen extraído es mucho mayor que el de la Recarga Media Anual (RMA); por consiguiente, se acrecienta la disminución de sus niveles estáticos por la excesiva y descontrolada extracción del líquido.

El estado de Puebla se encuentra ubicado al Sureste del Altiplano del país, entre la Sierra Nevada y al Oeste de la Sierra Madre Oriental; sus coordenadas geo Gráficas son 19°03'05" N y 98°13'04" O. Limita al Norte con Veracruz, al sur con Oaxaca y Guerrero; al oeste con Morelos, Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo y al este con Veracruz. Su superficie territorial es de 33,995 kilómetros cuadrados divididos en 217 municipios que representan el 1.7% del área total de la nación.

En el año 2000, el XII *Censo General de Población y Vivienda* reporto que su población era de "...5'076,686 personas de las cuales 2'448,801 eran hombres y 2'627,885 eran mujeres" (INEGI, 2000), para el año 2010 la población reportada fue "5, 779, 829 personas integradas por 2, 769, 855 hombres y 3, 009, 974 mujeres" (INEGI, 2010). De acuerdo a la proyección realizada por el Consejo Nacional de Población para el año 2030 se estima que la población para el estado de Puebla sea de "7'111,962 personas de las cuales 3'685,933 serán mujeres y hombres serán 3'426,029" (CONAPO, 2018).

Se precisa que en el estado se encuentra la cuarta ciudad más importante del país, así como industrias automotrices que distribuyen sus unidades a América Latina, además de la industria cárnica con la transnacional Granjas Carroll de México S. de R.L. de C.V., una de las principales productoras y exportadoras de carne de cerdo a China. Tal caracterización sugiere el grado de explotación de los recursos hídricos estatales, específicamente los acuíferos: en la entidad se cuenta con seis mantos acuíferos de los cuales dos presentan sobreexplotación tal a como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1.

Acuífero	Recarga Media Anual (RMA) (Millones de metros anuales)	Disponibilidad (Millones de metros anuales)
Valle de Tecamachalco	157.1	-49.102251*
Libres-Oriental	179.3	-0.351629*
Atlixco-Izúcar de Matamoros	244.3	47.141339
Valle de Puebla	360.7	44.647274
Valle de Tehuacán	246.9	35.622255
Ixcaquixtla	110.3	68.528305

Nota: Recarga Media Anual y Disponibilidad de los acuíferos del estado de Puebla. *Acuíferos en estado de sobreexplotación ya que el volumen de extracción es mayor al volumen de la recarga media anual. Fuente: CONAGUA (2015a-g).

El aprovechamiento del agua en la entidad poblana presenta una clara tendencia hacia las actividades agrícolas, las cuales son las principales consumidoras, seguidas del uso público urbano, quizá por las zonas hortícolas y la sinergia económica que produce la instalación de la central de abastos de Huixcolotla, tal y como se puede observar en la Tabla 2 y en la Figura 1.

Tabla 2.

USO	AGUAS NACIONALES						
	AGUAS SUPERFICIALES			AGUAS SUBTERRÁNEAS			Volumen Total m³/año
	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m³/año	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m³/año	
AGRÍCOLA	1,068	1,233	886,979,727	4,240	4,352	600,030,486	1,487,010,213
AGROINDUSTRIAL	0	0	0	0	0	0	0
DOMÉSTICO	49	51	528,497	110	111	48,295	576,792
ACUACULTURA	44	45	87,657,804	2	2	48,863	87,706,667
SERVICIOS	28	33	28,151,518	251	256	8,145,837	36,297,355
INDUSTRIAL	28	36	2,549,648	291	357	43,806,441	46,356,089
PECUARIO	201	390	469,853	144	153	4,409,474	4,879,327
PÚBLICO URBANO	2,658	3,383	180,114,044	1,250	1,533	252,143,789	432,257,833
MÚLTIPLES	89	123	25,493,767	373	385	14,573,174	40,066,941
GENERACIÓN DE ENERGÍA	13	18	4,960,111,688	0	0	0	4,960,111,688
COMERCIO	0	0	0	0	0	0	0
OTROS	0	0	0	0	0	0	0
CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	0	0	0	0	0	0	0
Totales	4,178	5,312	6,172,056,546	6,661	7,149	923,206,359	7,095,262,905

Nota: Aprovechamiento del agua superficial y subterránea en el estado de Puebla en el año 2017.
Fuente: Gobierno de la República (2017).

En la Figura 1 se puede observar que las actividades agrícolas ocuparon en el año 2017 el 64.99% de los recursos hídricos subterráneos en todo el estado, seguido solo por el destino público urbano y el destino industrial con el 27.31% y 4.75% respectivamente, misma que corresponde con la que se desglosa en la Tabla 3, cuya información fue proporcionada por la Coordinación Estatal de Transparencia y Gobierno Abierto de Puebla en el año 2015.

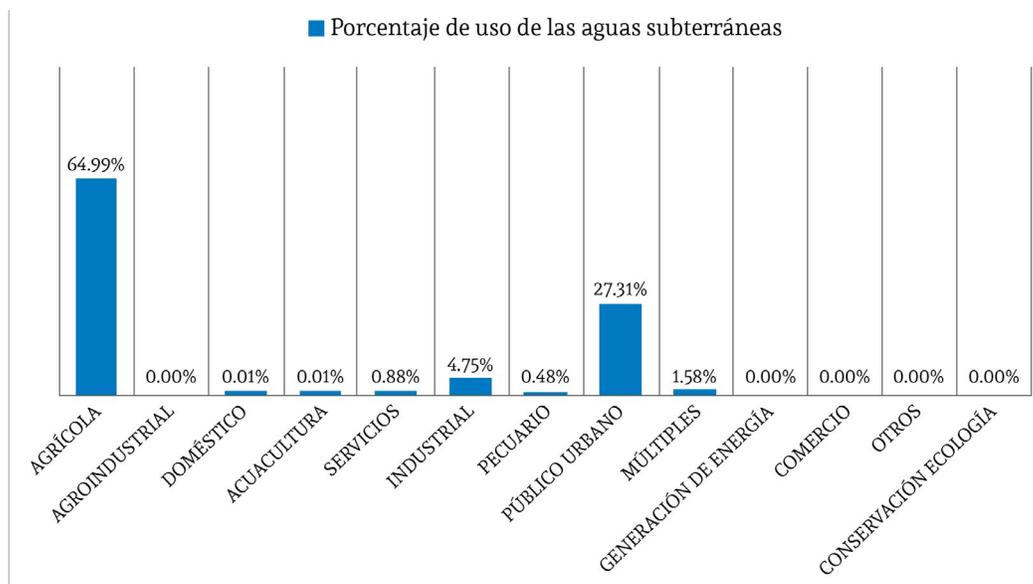


Figura 1. Porcentaje de uso por destino del agua subterránea en el año 2017. Fuente: Gobierno de la República (2017).

Tabla 3.

Indicador	Agrícola (%)	Abastecimiento público (%)	Industria autoabastecida (%)
México (nacional)	76.3	14.57	4.29
Puebla (estatal)	76.05	20.17	3.48

Nota: Porcentaje de uso de agua subterránea y superficial en el estado de Puebla para el año 2015. Fuente: Coordinación Estatal de Transparencia y Gobierno Abierto de Puebla (2015).

La política pública en el país se ha manifestado entre otras cosas en programas cuya finalidad es aprovechar el agua pluvial, para que, de alguna forma, se pueda mitigar el grado de explotación de los acuíferos del país y del estado. Un ejemplo de estos programas es el de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable del Suelo y Agua (IPASSA) 2018 cuya finalidad es “... apoyar a grupos de productores(as) agropecuarios de las regiones con poca disponibilidad de agua y procesos de erosión del suelo para aprovechar sustentablemente los recursos naturales asociados con sus actividades productivas...” (Mantecón, 2019), cuyos conceptos de apoyo son las infraestructuras para captación, manejo y almacenamiento de agua y las prácticas de conservación de suelo y agua; a continuación se explican ambas:

Infraestructuras para captación: En cuanto a las infraestructuras para captación, manejo y almacenamiento de agua se encuentran la construcción de ollas de agua (véase Figura 2), que son “... depresiones sobre el terreno, que permiten almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales también conocidos como jagüeyes, cajas de agua, aljibes, trampas de agua o bordos de agua. Esto se logra generando una barrera impermeable mediante geomembranas de polietileno.” (ML ingeniería, 2018). Las ollas de agua almacenan y administran el agua de lluvia con fines generalmente pecuarios, siendo alternativo para que el ganado obtenga agua durante épocas de sequía, reduciendo los problemas ligados a la indisponibilidad del agua.



Figura 2. Olla de agua. Fuente: tomada de publimar.mx

Asimismo, se encuentran los tanques para almacenamiento de agua (véase Figura 3), que generalmente son construidos con mampostería y concreto de altas resistencias e impermeabilizados para evitar el deterioro y filtración por las paredes de la construcción.



Figura 3. Tanque de almacenamiento de agua.
Fuente: tomada de aguasdesiguapeque.com

PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN: En cuanto a las prácticas de conservación de suelo y agua se tiene la construcción de terrazas (véase Figura 4), las cuales “... son un método eficaz para el control de erosión hídrica. Además, al reducir la velocidad del agua, mejora la infiltración y contribuyen al aumento del agua disponible en el perfil del suelo.” (Martín, 2018) las cuales son un método eficaz para el control de erosión hídrica. Además, al reducir la velocidad del agua, mejora la infiltración y contribuyen al aumento del agua disponible en el perfil del suelo.



Figura 4. Terraza. Fuente: tomada de Modecideas.com

Asimismo, se contempla la reforestación de zonas con degradación y pérdida forestal, la cual se realiza con especies endémicas cuya finalidad es apoyar en la recarga de los acuíferos, ver Figura 5.



Figura 5. Reforestación. Fuente: tomada de informador.mx

Metodología

A) UBICAR LA POLIGONAL DEL ESTADO DE PUEBLA, LOS 217 MUNICIPIOS Y CADA ACUÍFERO ÚNICAMENTE DENTRO DEL TERRITORIO DE DICHA ENTIDAD: Esta actividad se llevó a cabo mediante el software Google Maps, en el cual primero se realizó la poligonal de cada municipio (véase Mapa 1 [Figura 6]), asimismo se asignó un marcador de posición que contiene el nombre de cada uno de estos. Posteriormente se realizaron la poligonal del estado (véase Mapa 1 [Figura 6]) y finalmente se elaboró la poligonal de cada uno de los seis acuíferos (véanse Mapas 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

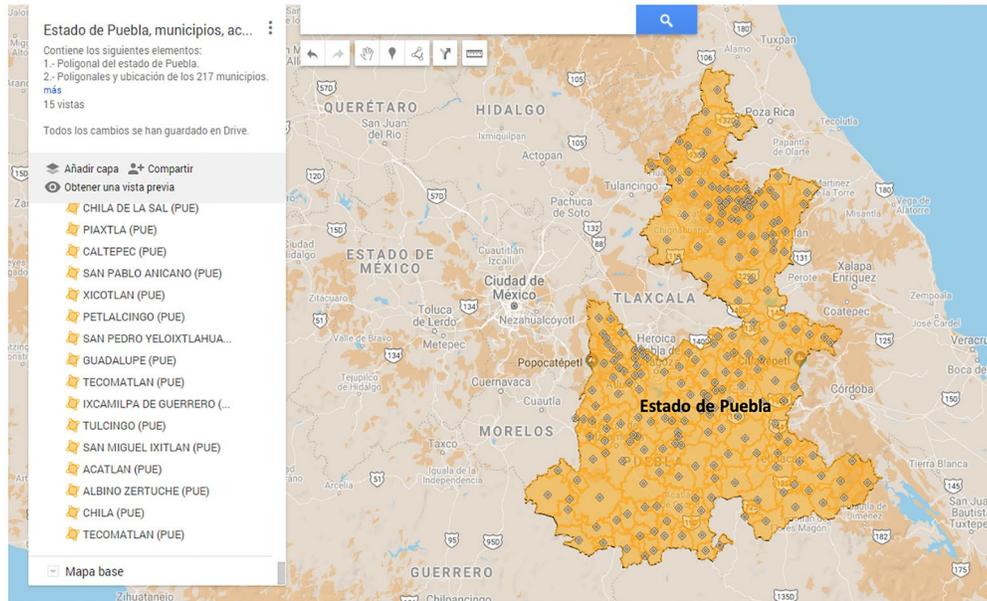


Figura 6. Mapa 1. Poligonal de los municipios y del estado de Puebla. Fuente: creación propia mediante Google Maps.

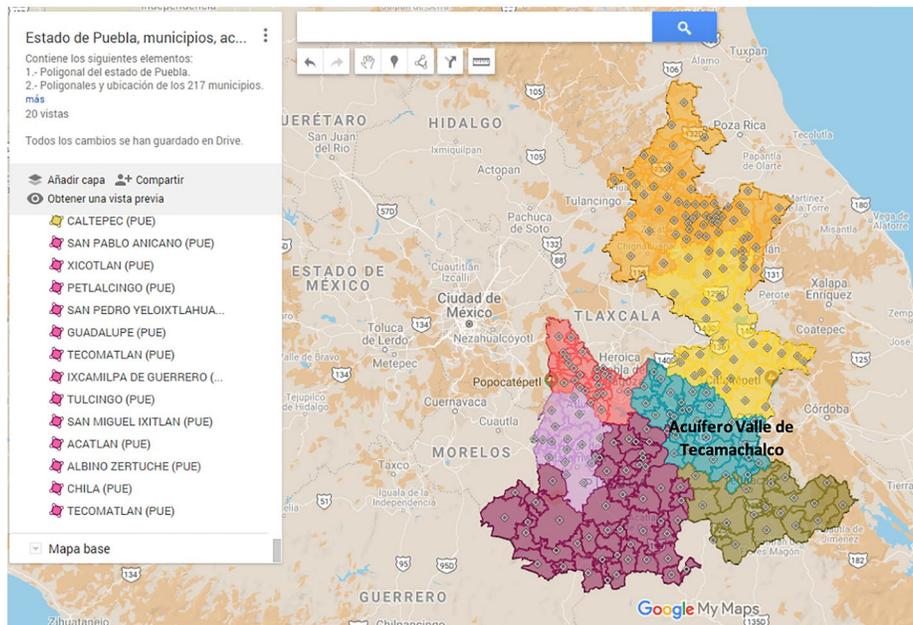


Figura 7. Mapa 2. Poligonal del acuífero 2101 Valle de Tecamachalco. Fuente: creación propia mediante Google Maps.

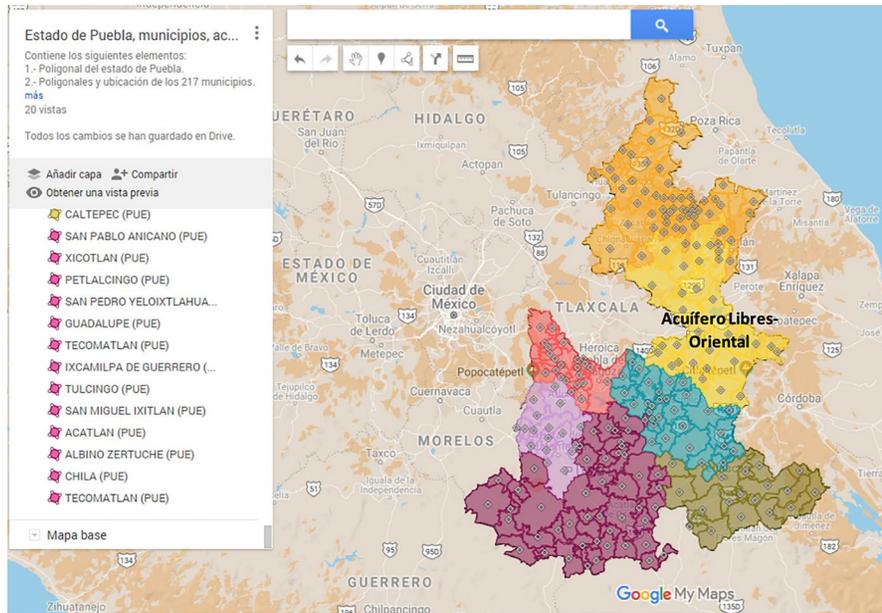


Figura 8. Mapa 3. Poligonal del acuífero 2102 Libres-Oriental. Fuente: creación propia mediante Google Maps.

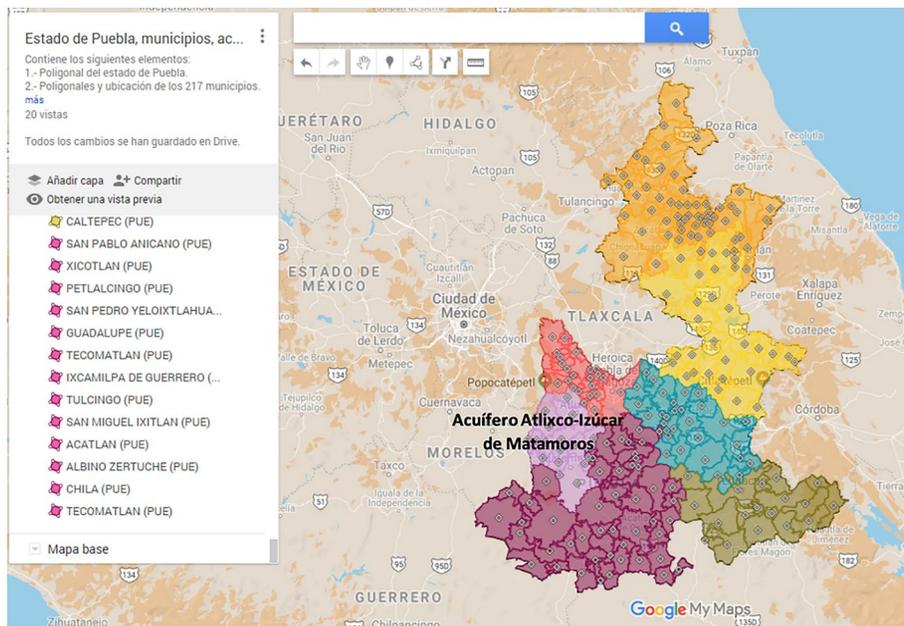


Figura 9. Mapa 4. Poligonal del acuífero 2103 Atlixco-Izúcar de Matamoros. Fuente: creación propia mediante Google Maps.

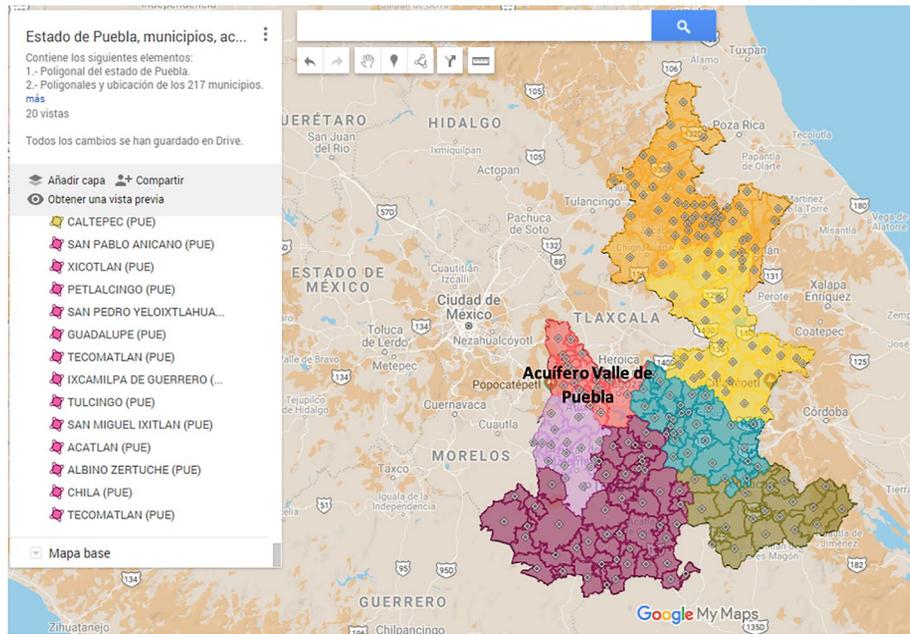


Figura 10. Mapa 5. Poligonal del acuífero 2104 Valle de Puebla. Fuente: creación propia mediante Google Maps.

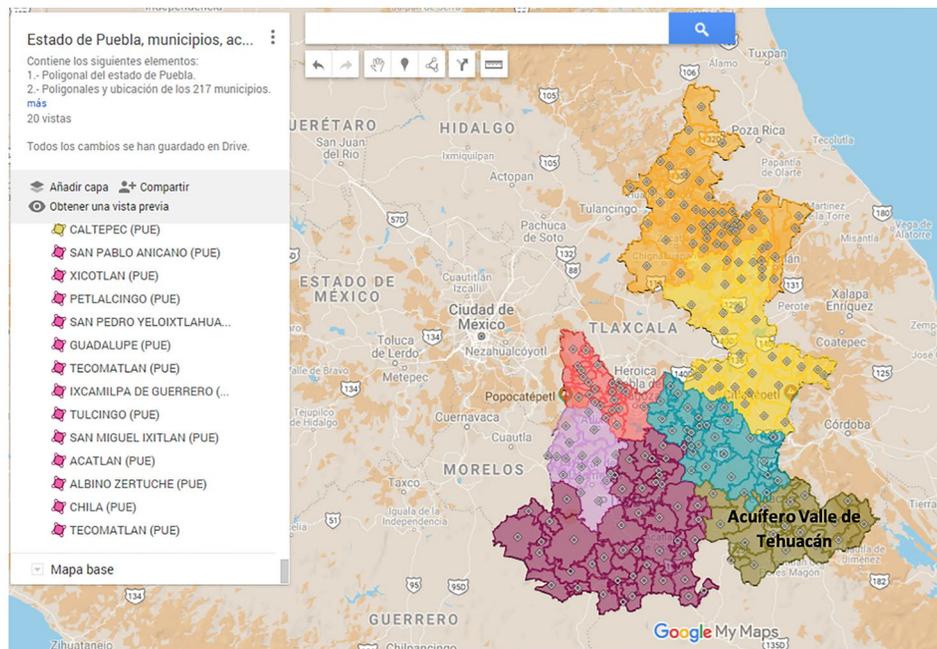


Figura 11. Mapa 6. Poligonal del acuífero 2105 Valle de Tehuacán. Fuente: creación propia mediante

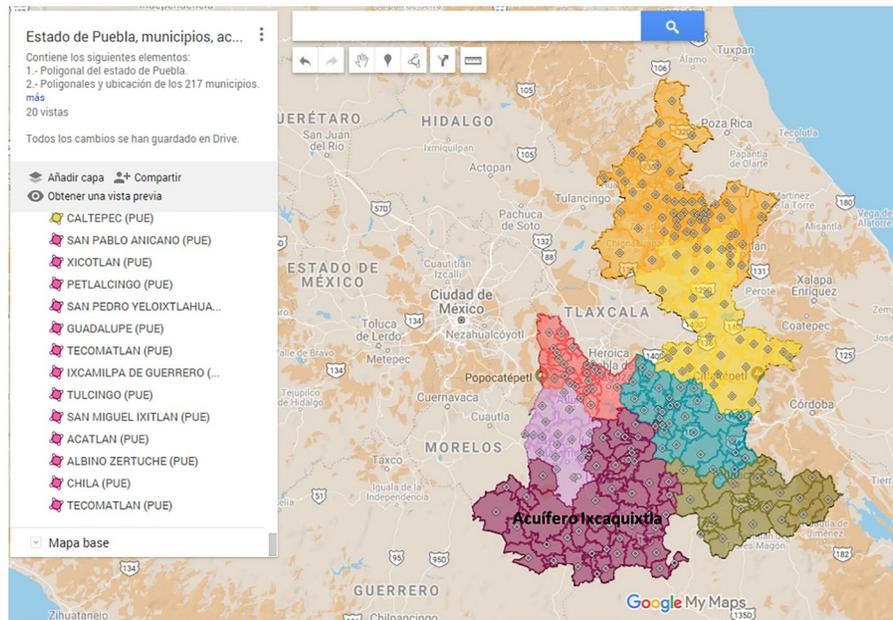


Figura 12. Mapa 7. Poligonal del acuífero 2106 Ixcaquixtla. Fuente: creación propia mediante Google Map

Resultados

De acuerdo al estudio realizado se identificó que el estado presenta una problemática hídrica que tiene que ver con el déficit por sobreexplotación de dos de sus seis acuíferos. La situación es sumamente grave en el acuífero del Valle de Tecamachalco debido a que el déficit es de casi cincuenta millones de metros cúbicos anuales, asimismo en la región oriente del estado se encuentra el acuífero Libres-Oriental el cual también presenta déficit aunque en un grado mucho menor de -0.351629 millones de metros cúbicos anuales. En la Figura 13 se muestra la aportación parcial de cada acuífero al total de agua subterránea del estado de Puebla. En ella se observa que los dos acuíferos con sobreexplotación aportan aproximadamente la cuarta parte del total del agua subterránea estatal, por lo que es urgente entablar acciones concretas en el tema.

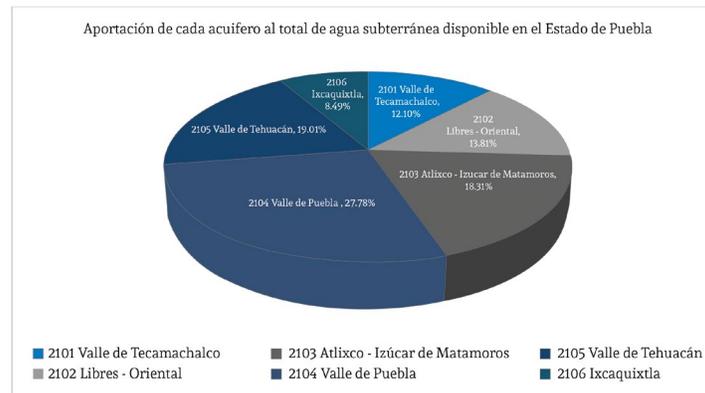


Figura 13. Aportación parcial de cada acuífero al total de agua subterránea del estado de Puebla en el año 2015. Fuente: Creación propia a partir de Comisión Nacional del Agua CONAGUA (2015).

Figura 13. Aportación parcial de cada acuífero al total de agua subterránea del estado de Puebla en el año 2015. Fuente: Creación propia a partir de Comisión Nacional del Agua CONAGUA (2015).

Conclusiones

Finalmente se concluye que:

- En el estado de Puebla las actividades agrícolas son las principales consumidoras de agua subterránea, seguidas de las actividades del ámbito público urbano.
- Los dos acuíferos en sobreexplotación aportan la cuarta parte del total del agua subterránea del estado. Se observa que se encuentran en zonas con escasa riqueza forestal.
- Es urgente establecer acciones encaminadas a la recarga artificial y/o natural de acuíferos, de lo contrario, la sobreexplotación seguirá creciendo.

Referencias bibliográficas

- Academia Nacional de Ciencias. (2018). *Agua subterránea*. Recuperado de: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Sources/Renewable-or-Non-renewable-Groundwater.html>
- Casma, J. (28 de marzo de 2015). Brasil, Colombia y Perú, entre los que más agua tienen en el mundo. *El País Internacional* [Periódico digital]. Recuperado de: https://elpais.com/internacional/2015/03/04/actualidad/1425491803_078422.html
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Tecamachalco (2101), Estado de Puebla*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103299/DR_2101.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Libres-Oriental (2102), Estado de Puebla*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103300/DR_2102.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros (2103), Estado de Puebla*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103301/DR_2103.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Puebla (2104), Estado de Puebla*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/>

- attachment/file/273105/DR_2104_VALLE_DE_PUEBLA.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Tehuacán (2105), Estado de Puebla*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103303/DR_2105.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Ixcaquixtla (2106), Estado de Puebla*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103304/DR_2106.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Disponibilidad por Acuíferos. Puebla*. Recuperado: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/puebla-74845>
- Consejo Nacional de Población. (2018). *Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050*. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>
- Coordinación Estatal de Transparencia y Gobierno Abierto de Puebla. (2015). Histórico uso consuntivo agua subterránea y superficial en el estado de Puebla. *Datos Abiertos*. Recuperado de: [http://datos.puebla.gob.mx/datos/historico-uso-consuntivo-agua-subterranea-superficial-estado-puebla-20151231-csv#{view-graph:{graphOptions:{hooks:{processOffset:\[\],bindEvents:\[\]}},graphOptions:{hooks:{processOffset:\[\],bindEvents:\[\]}}](http://datos.puebla.gob.mx/datos/historico-uso-consuntivo-agua-subterranea-superficial-estado-puebla-20151231-csv#{view-graph:{graphOptions:{hooks:{processOffset:[],bindEvents:[]}},graphOptions:{hooks:{processOffset:[],bindEvents:[]}})
- Gobierno de la República (2017). *Estado de Puebla. Títulos y Volúmenes de Aguas Nacionales y Bienes Inherentes por Uso de Agua*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232535/19_junio_2017_pue.pdf
- Guerrero, T., Rives, C., Rodríguez, A., Saldívar, Y. y Cervantes. V. (2009). El agua en la Ciudad de México. *Ciencias*, 94, 16-23. Recuperado de: <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/43-revistas/revista-ciencias-94/203-el-agua-en-la-ciudad-de-mexico.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/default.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Mantecón, R. (08 de abril de 2019) Brinda SEDAPA apoyos para crear infraestructura en regiones con poca disponibilidad de agua. Comunicación: *Coordinación General de Comunicación Social y Vocería del Gobierno del Estado*. Recuperado de: <https://www.oaxaca.gob.mx/comunicacion/2019/04/08/brinda-sedapa-apoyos-para-crear-infraestructura-en-regiones-con-poca-disponibilidad-de-agua/>
- Martín, J. (2018). *Las terrazas para controlar la erosión hídrica*. Agritotal. Recuperado de: <http://www.agritotal.com/nota/controlar-con-terrazas/>
- ML Ingeniería (2018). Ollas de captación. Recuperado de: <https://mlingenieria.com/ollas-de-captacion/>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2018). *Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable del Suelo y Agua (IPASSA) 2018*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas/componente-infraestructura-productiva-para-el-aprovechamiento-sustentable-del-suelo-y-agua-ipassa-ejecucion-nacional-2018>.