



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
**COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**Artículo: COMEII-19006**

*Mazatlán, Sin., del 18 al 20*

*de septiembre de 2019*

## **PROYECCION DE LA DISPONIBILIDAD Y DEMANDA DE AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE TECAMACHALCO, PUEBLA, EN EL PERÍODO 2017 – 2070**

Luis Alberto Villarreal Manzo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, *Campus* Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205 Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. C.P. 72760.

E-mail: [lavilla@colpos.mx](mailto:lavilla@colpos.mx) - Tel 01(222)2851455 Ext. 2038

### **Resumen**

El presente estudio se enmarca, a partir de un análisis de información y datos oficiales, en la proyección de escenarios futuros sobre las demandas y disponibilidades de agua subterránea del acuífero Valle de Tecamachalco, Puebla, de acuerdo a sus diferentes usos consuntivos. La metodología empleada en el presente estudio fue la de investigación bibliográfica y documental, además de la cuantitativa a través del cálculo y la estimación de requerimientos de riego de los cultivos mediante el método de Penman-Monteith.

La integración de la información consultada y generada permitió la construcción de escenarios oficiales y ajustados sobre la disponibilidad y la demanda de agua subterránea en el acuífero, realizándose a la vez, comparaciones y conclusiones entre los mismos escenarios.

Los resultados obtenidos respecto la disponibilidad y la demanda de agua subterránea, de acuerdo a datos ajustados, para el período 2017-2070, muestran un ligero superávit de alrededor del 2.47% para el año 2017, reduciéndose éste paulatinamente en los años siguientes hasta llegar al 35.67% de déficit para el año 2070, lo que significa que habrá un déficit de agua subterránea en el acuífero Valle de Tecamachalco durante prácticamente todo el período estudiado, éste irá aumentando paulatinamente por lo que se deberán implementar, con carácter de urgente, medidas tendentes a un uso y aprovechamiento sustentable y a la vez orientadas a su conservación.

**Palabras clave:** Uso consuntivo, disponibilidad, demanda, acuífero, agua subterránea.

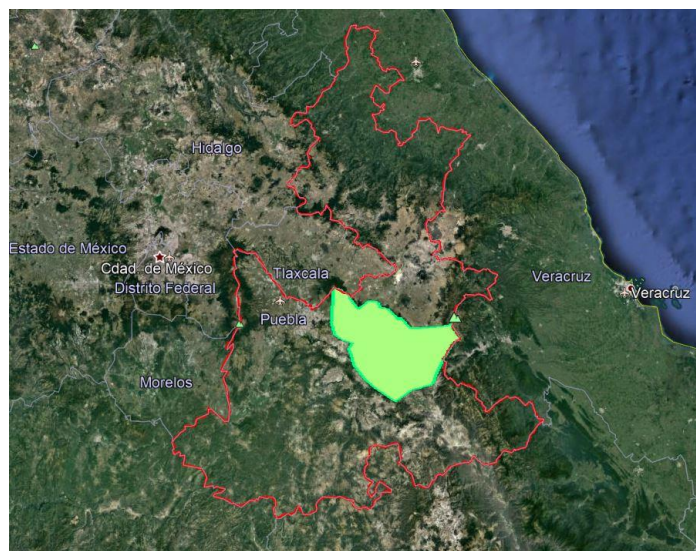
## Introducción

El presente estudio tiene el propósito de proyectar la disponibilidad y demanda de agua en el acuífero del Valle de Tecamachalco, Puebla. Lo anterior ante la creciente preocupación de la población en general, los diferentes órganos de gobierno, los productores agropecuarios, los industriales y los proveedores de servicios, respecto a la actual disponibilidad y demanda de agua subterránea y su disponibilidad futura. A partir del análisis de información estadística y datos oficiales se realiza la proyección de escenarios futuros –a poco más de 50 años, de la fecha actual- sobre las demandas y disponibilidades de agua subterránea del acuífero Valle de Tecamachalco, esto de acuerdo a los diferentes usos consuntivos del agua subterránea, a saber: agrícola, urbano e industrial y otros usos. Aunado a lo anterior y partiendo de la premisa de que en las actividades agropecuarias se realiza un mayor uso consuntivo de este vital recurso –en ocasiones en más del 80% de los volúmenes disponibles y concesionados oficialmente- se estimaron los requerimientos y los volúmenes de riego de cada uno de los cultivos que formaron parte del patrón de cultivos establecidos, bajo condiciones de riego, en el año 2017, en el área de influencia del acuífero Tecamachalco.

## Materiales y métodos

### Caracterización del acuífero

El acuífero Valle de Tecamachalco (AVT), cubre una superficie de 3,600 km<sup>2</sup>, lo que representa el 10.49% con respecto a la superficie total del estado de Puebla. Se localiza en la porción central del estado de Puebla. Colinda con: la sierra de Soltepec al noreste; por el volcán de La Malinche al norte; por la sierra de Zapotitlan al sur y suroeste y por la sierra del Tenzo al oeste, (Figura 1.)



**Figura 1.** Localización del acuífero Valle de Tecamachalco, Puebla.

Fuente: Elaboración propia a partir de coordenadas geográficas dadas en CONAGUA, 2015.



En el área de influencia del AVT se localizan 29 municipios contenidos de manera total o parcial: Acatzingo, Amozoc, Cañada Morelos, Cuapiaxtla de Madero, Cuautinchán, Chapulco, Esperanza, General Felipe Angeles, Huitziltepec, Mixtla, Molcaxac, Nicolás Bravo, Palmar de Bravo, Quecholac, Los Reyes de Juárez, San Salvador Huixolatlá, Santiago Miahuatlán, Santo Tomas Hueyotlipán Tecali de Herrera, Tecamachalco, Tepanco de López, Tepatlaxco de Hidalgo, Tepeaca, Tepeyehualco de Cuauhtémoc, Tlacotepec de Benito Juárez, Tlanepantla, Tochtepec, Xochitlán Todos Santos y Yehualtepec, (CONAGUA, 2015).

Con respecto a la profundidad de los niveles estáticos del acuífero, éstos varían desde la región de Esperanza entre unos 10 a poco más de 90 m: los niveles más someros se localizan al sur de la población de Tepeaca, en tanto los más profundos se han identificado en las inmediaciones del cerro Tlacomilco.

En el valle de Palmar de Bravo la distribución de las profundidades también obedece a las condiciones topográficas, con profundidad del nivel estático de 20 m en el área central del valle, en tanto los más profundos se encuentran dentro del rango de 50 a 60 m en las estribaciones de las sierras El Monumento.

En el área correspondiente al distrito de riego 030 Valsequillo, los niveles freáticos se localizan entre 20 y 60 metros de profundidad, localizándose los niveles más someros en las vecindades del canal principal, mientras que los más profundos se encuentran en los alrededores del Poblado de Santa María la Alta. Cabe señalar que en la denominada Unidad de Riego 3 los niveles se encuentran relativamente más someros variando entre 5 y 50 metros de profundidad, alcanzando los niveles más someros hacia Tehuacán y los profundos hacia Temalayuca y Cacaloapan.

El área de mayor densidad de aprovechamientos hídricos subterráneos se ubica en los municipios de Palmar de Bravo y Quecholac, donde el principal uso del agua está ligado a la agricultura. Así mismo, los patrones geospaciales de los aprovechamientos evidencian la tendencia de consumo hacia un uso predominantemente público- urbano, principalmente en municipios con mayor número de habitantes como Tepeaca, Amozoc y Tecamachalco, (Hernández *et al.*, 2019).

El acuífero presenta un déficit de disponibilidad de aguas subterráneas, al año 2015, de 49.1 Mm<sup>3</sup>.

### **Usos consuntivos del agua subterránea del acuífero**

De los 1,286 aprovechamientos de agua del acuífero, el 78% es destinado al uso agrícola, mismos que ocupan el 83% del volumen concesionado que corresponde 194' 223, 871 m<sup>3</sup> anuales. El uso público urbano ocupa cerca del 16%. El resto de los usos de agua asignados por el REPDA (industrial, múltiple, doméstico, pecuario y servicios) ocupan, en conjunto, solo el 2% respecto del total del volumen concesionado del acuífero, (Hernández *et al.*, 2019).



Respecto la demanda de agua subterránea por los diferentes usos consuntivos que se realizan en la región, conforme a datos oficiales, la actividad agrícola demanda un volumen de agua subterránea de 171'250,969.46 m<sup>3</sup>, volumen que representa el 83% del volumen total de aguas subterráneas concesionado (VCAS).

La actividad agrícola en el área de influencia del acuífero Valle de Tecamachalco, al año 2017, se fundamentó en el establecimiento y producción de 43 cultivos anuales y perennes, con una superficie cosechada al mismo año de 58,139.70 has, con cultivos entre los que destacan por su superficie sembrada y cosechada, el maíz grano, la alfalfa verde, el frijol, la lechuga, el sorgo grano, y el brócoli. El valor de la producción de los cultivos sembrados y cosechados en el área de influencia del acuífero, en el año 2017, fue de \$2,858'147,450.00.

La superficie cosechada total fue de 58,139.70 has, obteniéndose un total de 1'500,253.38 toneladas de productos agrícolas, con un valor de la producción de \$2,858'147,450.00, destacando el maíz grano con una aportación de \$432'068,300.00, representando poco más del 15% del valor de la producción total en el acuífero Valle de Tecamachalco.

La metodología empleada en el presente estudio fue la de investigación bibliográfica y documental, además de la cuantitativa a través del cálculo y la estimación de requerimientos de riego de los cultivos mediante el método de Penman-Monteith.

La integración y conjunción de la información consultada y generada permitió la construcción de escenarios oficial y ajustado sobre la disponibilidad y la demanda de agua subterránea en el AVT en el período 2017-2070, realizándose a la vez, comparaciones y conclusiones entre los mismos escenarios construidos y elaborándose finalmente una serie de recomendaciones a seguir, sobre todo en lo concerniente al uso del agua en actividades agrícolas, tendientes, las mismas, a realizar en todo momento, un uso más eficiente y racional del agua.

**Cuadro 1.** Variables e indicadores utilizados en la construcción de los escenarios oficial y ajustado sobre la disponibilidad y demanda de agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Puebla. Período 2017-2070.

Escenario	Uso consuntivo (l/hab/día)	Usos consuntivos (%)			
		Agrícola	Público-urbano	Industrial y otros usos	
Oficial	Población ajustado	150 (urbano); 75 (rural)	83.05	15.71	1.24
Ajustado	Población original	100 (urbano); 50 (rural)	84.62	14.02	1.36



En el lapso de 1964 a 1996, la extracción de agua subterránea en el acuífero se incrementó paralelamente a la perforación de más pozos profundos, principalmente para uso agrícola, ya que, de la extracción total, un 90% se destinaba a esa actividad. Así, en 1996, se bombeaba en la zona un volumen de 159.2 Mm<sup>3</sup>, (CONAGUA, 2015).

Parte del análisis llevado a cabo en el presente estudio y ante la necesidad de contar con información sobre superficies y láminas de riego por cultivo, se enfocó a determinar los volúmenes de agua requeridos por el patrón de cultivos establecido bajo riego en el año 2017 en el área de influencia del AVT, de acuerdo a datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017) órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA) del Gobierno Federal, a partir de la estimación de las láminas de riego por cultivo.

Para ello, se estimaron los requerimientos de riego del patrón de cultivos, utilizando el método de estimación de Penman-Monteith. El volumen total requerido por el patrón de cultivos establecido, se afectó por el 51.47% mismo porcentaje que representa la eficiencia media de requerimiento de riego, obtenida de trabajos experimentales llevados a cabo en la región bajo estudio (Villarreal, 1994).

En la construcción de los escenarios oficial y ajustado respecto a la disponibilidad y demanda de agua en el AVT, de acuerdo a su uso por los diferentes sectores productivos (primario y secundario) y al aprovisionamiento a la población de las localidades y municipios que forman parte del área de influencia del acuífero, se siguió el siguiente procedimiento:

Con información de los documentos *“Panorama sociodemográfico de Puebla, Tomos I y II”*, del año 2011, se contabilizó la población existente en el año 2010 en cada uno de los 31 municipios que forman parte del área de influencia del acuífero. Con información del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI) se contabilizó la población existente para los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015. Con información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y de acuerdo a las tasas de natalidad para los municipios estudiados, y utilizando tendencias lineales (método del mínimo cuadrado), se realizó la proyección de crecimiento poblacional hasta el año 2070.

La población total se dividió, para su análisis particular, en población urbana y población rural, correspondiendo un 72% del total a población urbana y el restante 28% a población rural.

La demanda o uso consuntivo de la población utilizado en la construcción del escenario ajustado, se determinó considerando que la población urbana tiene una demanda de 150 litros por habitante por día. Por su parte, la población rural demanda 75 litros por habitante por día, demandas muy por debajo de los 320 litros por habitante por día que reporta la CONAGUA dispone cada mexicano hoy en día y también datos más cercanos a los 100 a 150 litros por persona por día que reporta la Organización Mundial de la Salud (OMS) debe disponer una persona para cubrir sus necesidades básicas y evitar la mayor parte de los problemas de salud, (Derechos Humanos de la ONU, OMS, 2011).



Por otra parte, en la construcción del escenario oficial, la demanda o uso consuntivo de la población se determinó considerando una demanda de agua por la población urbana de 100 litros por habitante por día y de 50 litros por habitante por día por parte de la población rural.

De acuerdo a información oficial de la CONAGUA, la demanda o uso consuntivo del agua para actividades industriales y otras, corresponde a un 1.24% del volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) por parte de la misma Comisión. Para consumo público-urbano se consideró el 15.71% del VCAS y para el uso agrícola el restante 83.05% del VCAS.

Finalmente, un escenario ajustado consideró un 84.62% para uso agrícola, un 14.02% para uso público-urbano y un 1.36% para uso industrial.

El escenario de uso consuntivo oficial de demanda y disponibilidad de agua respecto al uso del suelo (ponderado general), para el período 2015 – 2017, se construyó a partir de información de la superficie en hectáreas dedicadas a cada una de las actividades sustantivas de análisis para el uso del agua del acuífero Valle de Tecamachalco, a saber: uso agrícola, uso público-urbano y uso industrial y otros usos.

Los usos consuntivos de agua por actividad sustantiva, se tomaron de los cálculos realizados en las hojas correspondientes a volúmenes de agua requeridos por el patrón de cultivos establecido -que corresponde al uso consuntivo agrícola- el uso consuntivo demandado por la población y el uso consuntivo realizado por la industria.

La suma de estos usos consuntivos representa la demanda total de agua, reportada por la CONAGUA en su estudio “Actualización de la disponibilidad media anual de agua del acuífero Valle de Tecamachalco, al 20 de abril de 2015”, (CONAGUA, 2015).

Mismo procedimiento se siguió para la construcción del escenario de uso consuntivo ajustado.

Finalmente, se realizó un análisis ponderado de los usos consuntivos de agua en el AVT, considerando como línea base la superficie agrícola sembrada y cosechada, el volumen de agua requerido por el patrón de cultivos establecido, e incrementos proyectados del 21% y del 50% de la superficie agrícola sembrada en el área de influencia del acuífero.

Los usos consuntivos público-urbano e industrial y otros usos, fueron los mismos reportados en los escenarios oficial y ajustado.

## **Resultados y discusión de resultados**

En la construcción de los escenarios de uso consuntivo, se consideraron los volúmenes de agua de acuerdo a la superficie sembrada y requeridos por cada uno de los cultivos establecidos. Destacando los volúmenes requeridos o usos consuntivos del cultivo de la alfalfa verde, del maíz grano, del sorgo grano, del brócoli y de la col (repollo), esto de



acuerdo a la superficie sembrada y cosechada de cada uno de estos cultivos, mientras que el resto de cultivos mostraron una tendencia más o menos uniforme en cuanto a sus requerimientos de riego. Los cultivos establecidos en el área de influencia del AVT, tuvieron un uso consuntivo total de 159'037,278.24 m<sup>3</sup> de agua en las 58,139.70 has cosechadas, uso consuntivo que representa el 77.13% del volumen total de agua subterránea concesionado.

De acuerdo a datos oficiales y considerando un consumo de agua de 150 litros por día por habitante de localidades urbanas y de 75 litros por día por habitante de localidades rurales, los 29 municipios que conforman el acuífero Valle de Tecamachalco, con una población total de 794,193 habitantes, demandaron en el año 2010, un volumen de agua total de 37'394,577 m<sup>3</sup>. Para el año 2017, la población proyectada fue de 855,789 habitantes, misma que demandaría un volumen de agua total de 40'294,843 m<sup>3</sup>; 61,596 habitantes más respecto al año 2010 y 2'900,266 m<sup>3</sup> de agua adicional.

Para el año 2070, la proyección de acuerdo a datos de CONAPO y de los resultados obtenidos aplicando tendencias lineales (método de mínimos cuadrados), la población total será de 1'149,989 habitantes, misma que demandará un volumen de agua total de 54'147,235 m<sup>3</sup>; 294,200 habitantes más que en el año 2017 y 13'852,392 m<sup>3</sup> de agua adicional al mismo año.

Conforme a datos ajustados y considerando un consumo de agua de 100 litros por día por habitante de localidades urbanas y de 50 litros por día por habitante de localidades rurales, los 29 municipios que conforman el acuífero Valle de Tecamachalco, con una población de 855,789 habitantes, misma que demandó un volumen de agua total de 26'863,229 m<sup>3</sup>; 61,596 habitantes más respecto al año 2010 y 1'933,511.00 m<sup>3</sup> de agua adicional.

Para el año 2070, la proyección de acuerdo a datos de CONAPO y de los resultados obtenidos aplicando tendencias lineales (método de mínimos cuadrados), la población total será de 1'149,989 habitantes, misma que demandará un volumen de agua total de 36'098,156 m<sup>3</sup>; 294,200 habitantes más que en el año 2017 y 9'234,927 m<sup>3</sup> de agua adicional al mismo año.

El uso consuntivo mayoritario del agua subterránea recae en la actividad agrícola, que de acuerdo a datos oficiales ocupa un 83% del volumen de agua total concesionado, le siguen el público-urbano y el industrial y otros usos.

De acuerdo a datos ajustados, los porcentajes de volúmenes concesionados cambian a 79.08%, 19.65% y 1.27% para usos consuntivos agrícola, público-urbano e industrial y otros usos, respectivamente. Por su parte el VCAS se ajusta a 201'114,624.98 m<sup>3</sup>, 5'087,626.02 m<sup>3</sup> menos respecto el VCAS oficial.

Datos ajustados, considerando un consumo de 100 litros de agua por habitante por día de localidades urbanas y de 50 litros de agua por habitante por día de localidades rurales, muestran un 84.62% de los volúmenes concesionados para uso agrícola, un 14.02% para



uso público-urbano y un 1.36% para uso industrial y otros usos. Resultando un VCAS ajustado de 187'941,145.37 m<sup>3</sup>; 18'261,105.63 m<sup>3</sup> menos respecto el VCAS oficial.

Por lo que respecta al escenario de uso consuntivo de acuerdo a datos oficiales y conforme al uso del suelo (ponderado) de cada uno de los usos consuntivos de agua subterránea del AVT, para los años 2017, 2020, 2030, 2050 y 2070, se encontró que la superficie sembrada al 2015, era de 58,139.70 has, 34,159.00 has ocupadas por localidades urbanas y rurales, 580.00 has ocupadas por parques industriales y otros usos, con un uso consuntivo total de 187'941,145.37 m<sup>3</sup> de agua, (Cuadro 2).

Para el año 2070, la superficie agrícola será, de acuerdo a las proyecciones a partir de los datos oficiales, de 70,669.17 has; la superficie ocupada por localidades urbanas y rurales será de 41,520.48 has, mientras que la ocupada por parques industriales será de 620.00 has. El uso consuntivo total será de 232'176,641.53 m<sup>3</sup>; 44'235,496.16 m<sup>3</sup> más respecto el uso consuntivo total del año 2017.

**Cuadro 2.** Escenarios de uso del suelo (ponderado general).

	2017 (ha)	Uso consuntivo (m <sup>3</sup> /año)	2030 (ha)	Uso consuntivo (m <sup>3</sup> /año)	2050 (ha)	Uso consuntivo (m <sup>3</sup> /año)	2070 (ha)	Uso consuntivo (m <sup>3</sup> /año)
<b>Uso agrícola</b>	58,139.70	159,037,278.24	64,099.02	175,338,599.26	67,303.97	184,105,529.22	70,669.17	193,310,805.68
<b>Uso público urbano</b>	34,159.00	26,346,959.22	37,660.30	29,588,652.87	39,543.31	32,843,404.68	41,520.48	36,098,156.50
<b>Uso Industrial y otros</b>	580.00	2,556,907.91	600.00	2,660,206.99	610.00	2,713,411.13	620.00	2,767,679.35
<b>Total</b>	<b>92,879</b>	<b>187,941,145.37</b>	<b>102,359.32</b>	<b>207,587,459.11</b>	<b>107,457.28</b>	<b>219,662,345.03</b>	<b>112,809.65</b>	<b>232,176,641.53</b>

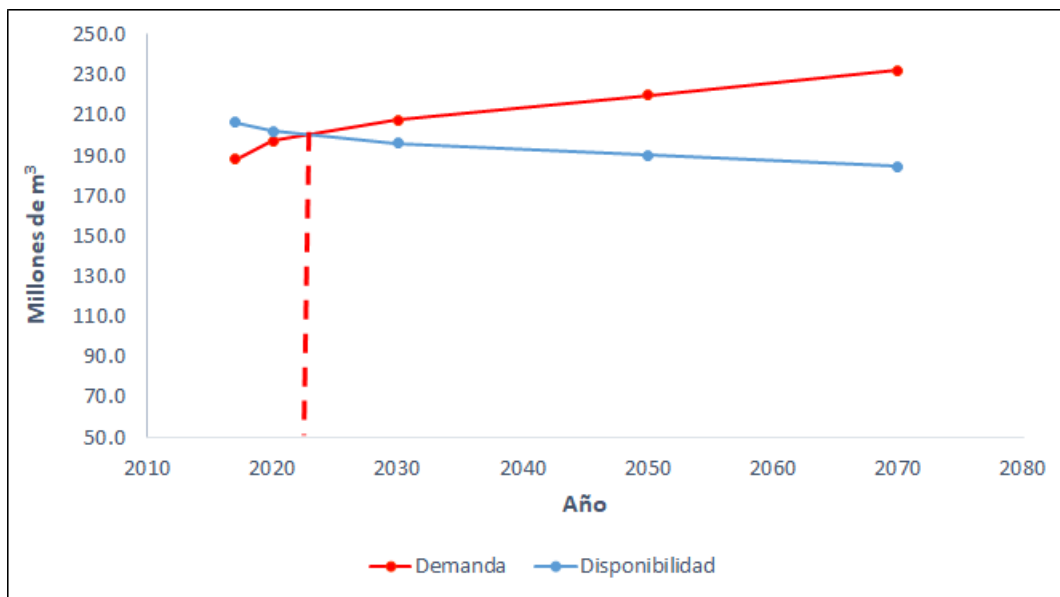
Por lo que respecta al volumen concesionado o extraído de agua subterránea del AVT (VCAS) y la disponibilidad de agua subterránea (DAS), conforme datos oficiales al 2017, éstos volúmenes se afectaron por los coeficientes 0.98 para el año 2020 y de 0.97 para los años 2030, 2050 y 2070, coeficientes preliminares obtenidos en estudios previos de los acuíferos del estado de Puebla (Villarreal, 2017) y que muestran una tendencia de reducción de los VCAS de los acuíferos del estado de Puebla. Los resultados indican volúmenes totales de 206.20 millones de m<sup>3</sup> para el año 2017, disminuyendo dicho volumen en años subsecuentes hasta llegar a 184.43 millones de m<sup>3</sup> para el año 2070.

Conforme a lo anterior, el superávit o déficit de agua subterránea, de acuerdo a datos oficiales, para el período 2017-2070 fue de +8.86% para el año 2017, disminuyendo éste paulatinamente en los años subsecuentes hasta llegar al 25.89% de déficit para el año 2070 (Cuadro 3 y Figura 2).



**Cuadro 3.** Disponibilidad y demanda de agua subterránea del acuífero Valle de Tecamachalco, de acuerdo a datos oficiales, en el período 2017 - 2070.

Año	Demanda de agua subterránea (m <sup>3</sup> )	Disponibilidad de agua subterránea (m <sup>3</sup> )	%	Superávit/déficit
2017	187,941,145.37	206,202,251.00	91.14	8.86
2020	197,186,798.92	202,078,205.98	97.58	2.42
2030	207,587,459.11	196,015,859.80	105.90	-5.90
2050	219,662,345.03	190,135,384.01	115.53	-15.53
2070	232,176,641.53	184,431,322.49	125.89	-25.89



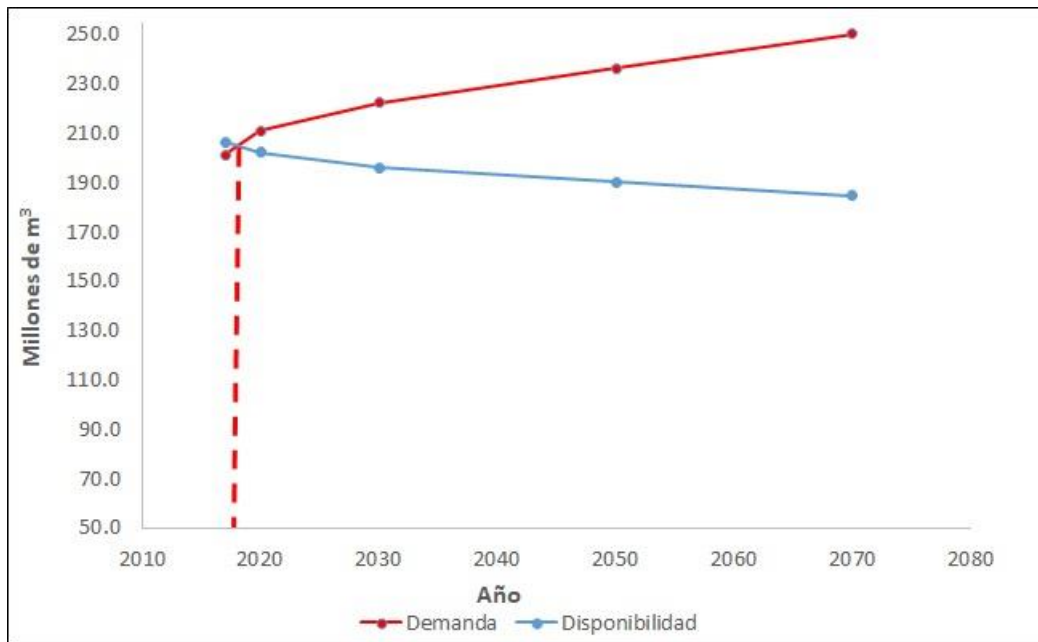
**Figura 2.** Disponibilidad y demanda de agua subterránea del acuífero Valle de Tecamachalco, de acuerdo a datos oficiales, en el período 2017 – 2070.

Por otra parte, la disponibilidad y la demanda de agua subterránea, de acuerdo a datos ajustados, para el período 2017-2070, muestran un superávit de alrededor del 2.47% para el año 2017, disminuyendo éste paulatinamente en los años subsecuentes hasta llegar al 35.67% de déficit para el año 2070, lo que implica que prácticamente en todo el período analizado, en el AVT, habrá un déficit de agua y que éste se irá incrementando paulatinamente, (Cuadro 4 y Figura 3).

**Cuadro 4.** Disponibilidad y demanda de agua subterránea del acuífero Valle de Tecamachalco, de acuerdo a datos ajustados, en el período 2017 - 2070.

Año	Demanda de agua subterránea (m <sup>3</sup> )	Disponibilidad de agua subterránea (m <sup>3</sup> )	%	Superávit/déficit
2017	201,114,624.98	206,202,251.00	97.53	2.47
2020	210,981,604.27	202,078,205.98	104.41	-4.41

2030	222,381,785.55	196,015,859.80	113.45	-13.45
2050	236,084,047.37	190,135,384.01	124.17	-24.17
2070	250,225,719.78	184,431,322.49	135.67	-35.67

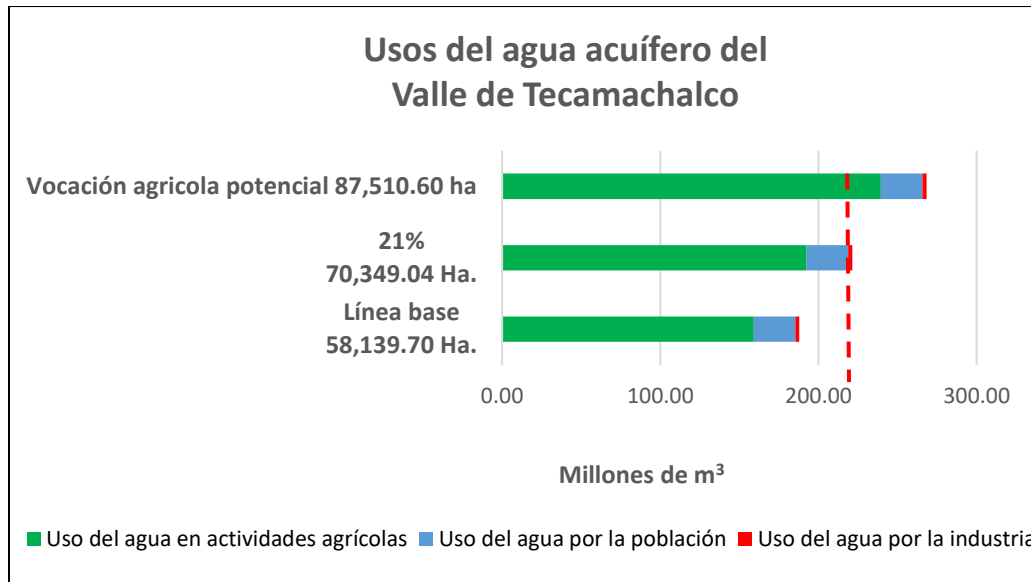


**Figura 3.** Disponibilidad y demanda de agua subterránea del acuífero Valle de Tecamachalco, de acuerdo a datos ajustados, en el periodo 2017 – 2070.

Por último y de acuerdo a un escenario ponderado considerando la información oficial y la información ajustada en el presente estudio, con respecto al uso consuntivo del agua en actividades agrícolas, la línea base muestra una superficie agrícola de 58,139.70 has, con un uso consuntivo de agua subterránea de 159.04 millones de m<sup>3</sup>. También como línea base se establece un uso consuntivo del agua subterránea de 26.35 millones de m<sup>3</sup> para uso público-urbano y un uso consuntivo del agua subterránea de 2.56 millones de m<sup>3</sup> para uso industrial y otros usos, (Cuadro 5 y Figura 4).

**Cuadro 5.** Escenario ponderado del uso del agua en el acuífero Valle de Tecmachalco, Pue.

	Uso del agua en actividades agrícolas (Mm <sup>3</sup> )	Uso del agua por la población (Mm <sup>3</sup> )	Uso del agua por la industria (Mm <sup>3</sup> )
<b>Línea base</b> 58,139.70 Ha.	159.04	26.35	2.56
<b>21%</b> 70,349.04 Ha.	192.43	26.35	2.56
<b>Vocación agrícola potencial</b> 87,510.60 ha	239.37	26.35	2.56



**Figura 4.** Escenario ponderado del uso del agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Puebla

En este escenario ponderado, la superficie agrícola se incrementa primeramente en un 21%, derivando este incremento en 70,349.04 has y un cambio del uso consuntivo en esta actividad a 192.43 millones de m<sup>3</sup> de agua, arrojando esto un incremento de 33'390,000 m<sup>3</sup> de agua. El uso consuntivo de la población y el de la industria y otros usos, permanecen sin cambio.

Finalmente, se considera que, en el área de influencia del acuífero Valle de Tecamachalco, existe una superficie potencial con vocación agrícola de 87,510.60 has, con un uso consuntivo de agua subterránea proyectado de 239.37 millones de m<sup>3</sup>.

## Conclusiones

La proyección y construcción de los escenarios actual y futuro, a partir de datos oficiales y ajustados, sobre la disponibilidad y demanda de agua del AVT, proporciona una idea clara sobre la tendencia de reducción paulatina y constante de los volúmenes de agua disponibles y su insuficiencia para satisfacer una demanda creciente, en cada uno de los usos consuntivos de la misma.

El escenario construido y proyectado a partir de datos oficiales muestra que aproximadamente a partir del año 2023, la disponibilidad igualará a la demanda, por lo que prácticamente a partir de ese año se registrará un déficit gradual y progresivo de agua en el acuífero, mismo que llegará a ser de aproximadamente el 26% para el año 2070.

El escenario ajustado muestra que prácticamente para el año 2018, la disponibilidad se vio igualada a la demanda, por lo que hoy día se estaría ya registrando un déficit de agua en el acuífero, mismo que llegará a der del orden del 35.67% para el año 2070.



Resultados y consideraciones del presente estudio son similares a la proyección que hace Grecko, 2018, de que una disponibilidad de 50 litros de agua por persona por día, podría estar paliando en alguna medida, la grave escasez que enfrentan en estos momentos grandes ciudades como Ciudad del Cabo, Sao Paulo, Bengaluru, Beijing, El Cairo, Yakarta, Moscú, Estambul, Cd. de México, Lonfres, Tokio y Miami, renunciando, claro, a la mayor parte de las cosas en las que uno emplea el agua.

De acuerdo a proyecciones de expertos respaldados por la ONU, *la demanda global de agua potable sobrepasará el suministro en 40 % para el año 2030*, gracias a una combinación de factores como el cambio climático, la acción humana y el crecimiento demográfico. (BBC Mundo, 2018, p.2).

Aun cuando la diferencia en la proyección de los dos escenarios construidos es de solo 5 años, a partir de que la disponibilidad se vea igualada a la demanda de agua subterránea, la crisis que está en estos momentos viviendo el AVT, es de proporciones alarmantes, misma que ha propiciado una reducción significativa en la superficie sembrada y cosechada, conforme la cada vez menor disponibilidad de agua, y la necesidad de muchas de las unidades de riego, de explorar la posibilidad de extraer agua a cada vez mayores profundidades.

A partir de los resultados encontrados en el presente estudio, las autoridades de todos los niveles de gobierno, deben implementar acciones tendentes a revertir los efectos negativos de la disminución de la disponibilidad del agua subterránea del acuífero, recomendando, implementando, evaluando y mejorando acciones orientadas a maximizar la recarga natural del acuífero, y sobre todo a realizar un uso más eficiente del agua en todas y cada una de las actividades consuntivas que se realizan en los municipios y localidades asentadas en el área de influencia del acuífero.

## Referencias bibliográficas

BBC Mundo. (2018). *11 de las grandes urbes del mundo con más probabilidades de quedarse sin agua potable como Ciudad del Cabo*. Redacción BBC Mundo. Recuperado de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-42975307>

Comisión Nacional del Agua. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Estado de Puebla. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. 20 de abril de 2015. México, D.F.

Grecko, T. (2018). *La era de la sed*. Reportaje especial. Revista Proceso. Ed. 2156. Recuperado de <http://www.proceso.com.mx/524693/la-era-de-la-sed>

Hernández, V. L., Villarreal, M. L.A., Ramírez, V.B., Ocampo, F.I., Jaramillo, V.J.L. y Ortiz, E.B. (2019). Análisis geoespacial del aprovechamiento agrícola de agua subterránea del acuífero del valle de Tecamachalco, Puebla. Tesis de Doctora en



Ciencias. Programa de Postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados, *Campus* Puebla.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Gobierno Federal. (2017). Avances de siembras y cosechas. <http://www.gob.mx/siap>. México, D.F.

Organización de las Naciones Unidas. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. Organización Mundial de la Salud. (2011). El derecho al agua. Folleto informativo no. 35. Palais des Nations, 8-14 avenue de la Paix, CH-1211 Ginebra 10, Suiza. [www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf](http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf)

Villarreal, M.L.A. (1994). Metodologías de diagnóstico y planeación de la operación de unidades de riego por bombeo. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Villarreal, M.L.A. (2017). Availability and water demand in the Tehuacan Valley Aquifer, Puebla, in the period 2015-2070. 18o. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación, ANEI, A.C. Congreso Nacional de Irrigación y 4a. Conferencia Interregional "Retos en Tierra y Agua". Innovación Sustentable de la Irrigación. Texcoco, Estado de México.