



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Capítulo 4

Resultados y Discusión

- IV.1 Uso del agua subterránea
- IV.2 Pruebas de bombeo
- IV.3 Parámetros hidráulicos del acuífero
- IV.4 Piezometría
- IV.5 Balance de aguas subterráneas
- IV.6 Escenarios hipotéticos de explotación

IV.1 Uso del agua subterránea

Durante el desarrollo del censo se verificaron diversos aspectos en cuanto a las condiciones en las que se encuentran y operan los pozos (Anexo B). De la información analizada se concluye que solo el 82% de los pozos se encuentran en operación actualmente (Figura 4.1).

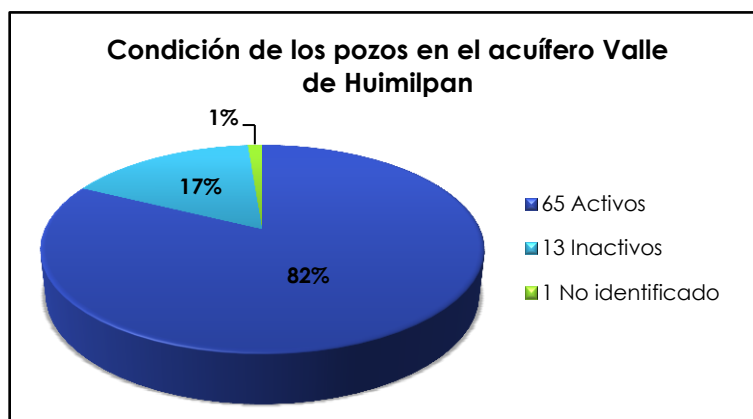


Figura 4.1 Relación entre pozos activos e inactivos en el acuífero Valle de Huimilpan.

En el acuífero Valle de Huimilpan la principal actividad económica es la agricultura, por lo tanto del total de pozos activos 48 pozos son agrícolas, 9 son de uso público urbano, 4 pozos son de uso pecuario, 1 pozo es de uso múltiple y de 3 pozos no fue posible identificar su uso (Figura 4.2).

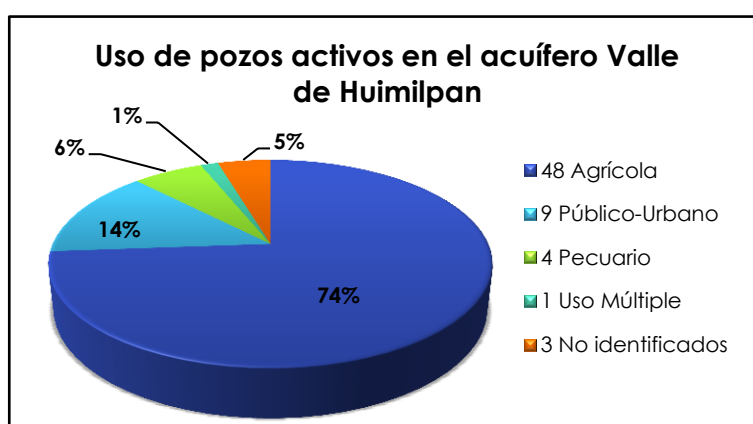


Figura 4.2 Uso de aprovechamientos subterráneos en el acuífero Valle de Huimilpan.

En comparación con 1996, se reportaba un total de 65 aprovechamientos de los cuales 51 eran activos y 14 inactivos. Del total de aprovechamientos activos 41 eran de uso agrícola, 4 de uso público-urbano y 1 de uso

pecuario. El incremento de pozos ha sido en un 28%, siendo la mayor cantidad de pozos implementados en 14 años de uso agrícola (Figura 4.3).

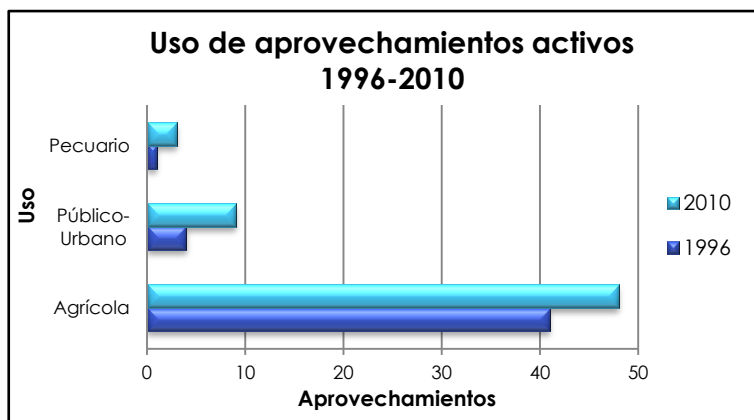


Figura 4.3 Comparación del uso de los aprovechamientos activos en 1996 y 2010.

IV.2 Pruebas de bombeo

Como se mencionó en el subcapítulo II.3, las pruebas realizadas fueron interpretadas con el método de Cooper-Jacob (Cooper y Jacob, 1946; Jacob, 1950).

De la interpretación de la prueba realizada en el pozo P0026HU se obtuvo un valor de transmisividad de $8.2 \text{ m}^2/\text{d}$ correspondiente a la etapa de bombeo (Figura 4.4) y de $150 \text{ m}^2/\text{d}$ para la etapa de recuperación (Figura 4.5).

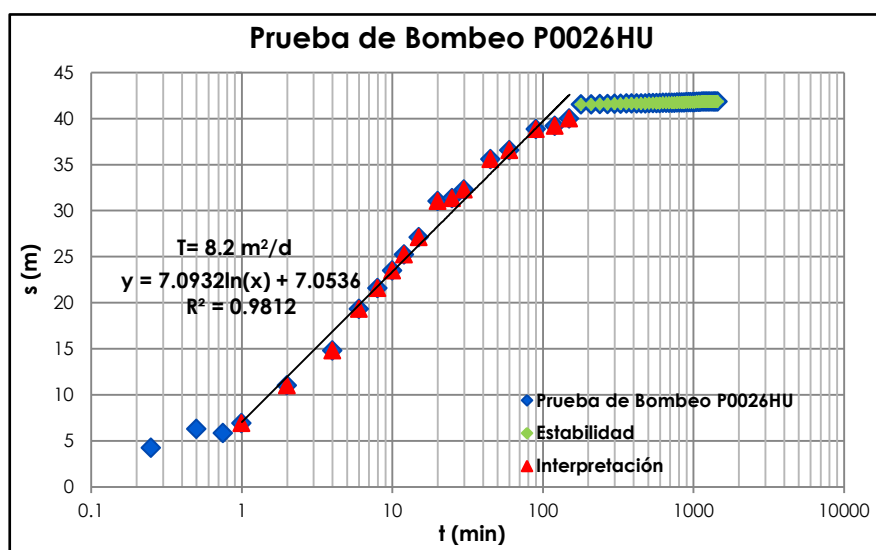


Figura 4.4 Gráfica de abatimiento vs logaritmo del tiempo P0026HU.

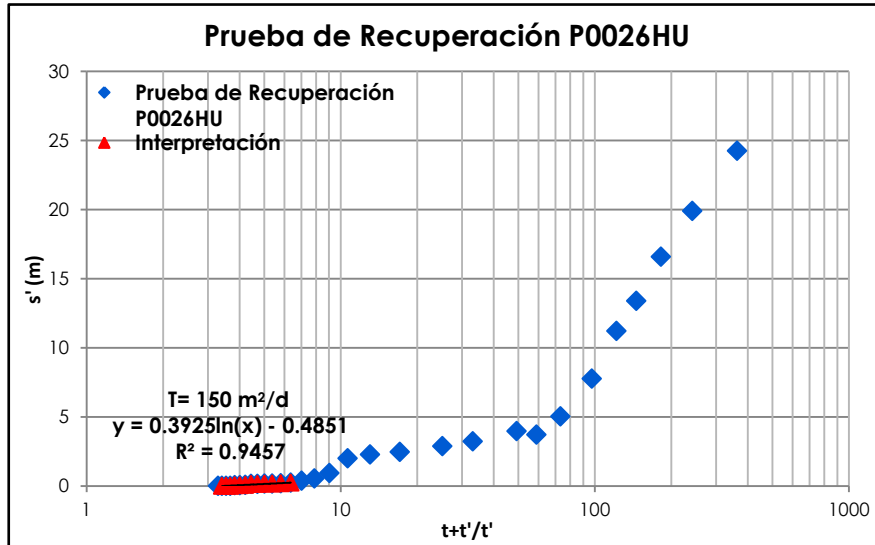


Figura 4.5 Gráfica recuperación vs logaritmo del tiempo normalizado P0026HU.

El valor más aceptado es el obtenido al interpretar la prueba de recuperación, ya que durante esta prueba se eliminan procesos físicos como turbulencia ocasionada por la extracción de agua con la bomba, evitando así oscilaciones más notables que puedan alterar los resultados obtenidos.

De la interpretación de la prueba realizada en el pozo P0006HU, se obtuvo un valor de transmisividad de $13.49 \text{ m}^2/\text{d}$ correspondiente a la etapa de bombeo (Figura 4.6) y de $62.89 \text{ m}^2/\text{d}$ para la etapa de recuperación (Figura 4.7).

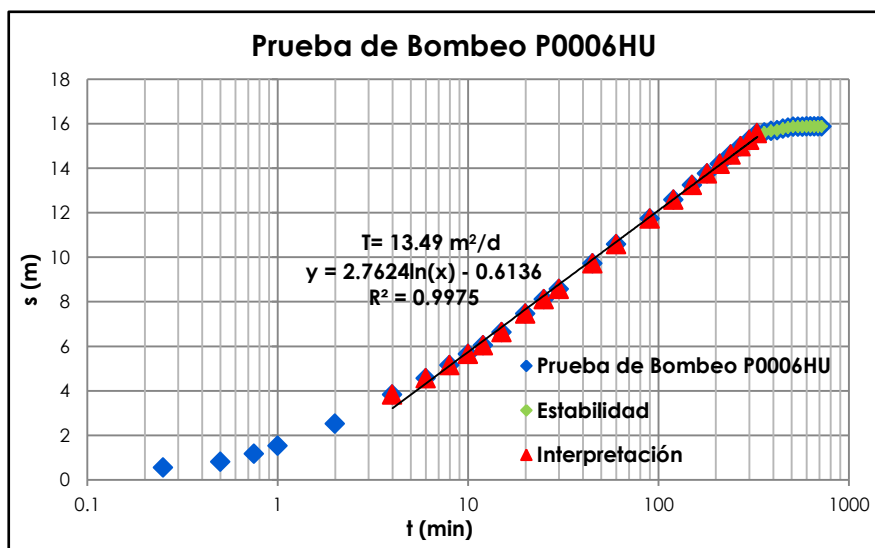


Figura 4.6 Gráfica de abatimiento vs logaritmo del tiempo P0026HU.

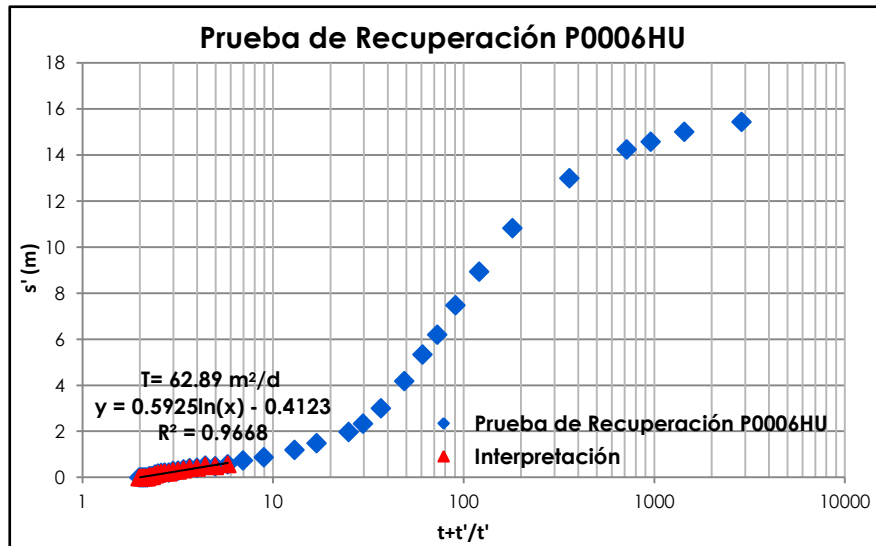


Figura 4.7 Gráfica recuperación vs logaritmo del tiempo normalizado P0006HU.

Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas en el P0006HU no son representativos de la zona, ya que el gradiente hidráulico en la porción norte del área de balance implica un incremento en la transmisividad.

En las Figuras 4.4 y 4.6 se observa una sección de la curva marcada con verde, la cual representa una estabilidad que logró el acuífero. En la Figura 4.4 se observa claramente que esta estabilidad tuvo una larga duración y al contrario de la que se observa en la Figura 4.5.

Esta estabilidad puede ser interpretada como drenaje diferido, el cual se debe a que el acuífero no cede en forma instantánea el agua que se encuentra en los poros que conforman el medio acuífero, siendo en granulometrías finas un proceso lento, lo que permite que se llegue a observar una estabilidad del nivel dinámico.

Al analizar estas gráficas se observa que en la primera porción de éstas se forma un cono de bombeo, siendo el agua que cede el acuífero menor que la real debido a que aún hay agua presente en los poros, siendo la transmisividad obtenida en esta parte de la curva inferior a la real.

Para interpretarse como drenaje diferido, la prueba de bombeo debería de haber durado más tiempo, lo que hubiera permitido observar realmente el comportamiento del acuífero y en caso de tener el tercer tramo característico de las curvas teóricas para acuíferos libres con drenaje diferido, la interpretación de éste sería la respuesta real del acuífero.

IV.3 Parámetros hidráulicos del acuífero

De la información recopilada durante el trabajo de gabinete y de la información recabada durante el censo de aprovechamientos se extrajeron los datos y parámetros hidrogeológicos necesarios para poder obtener los términos involucrados para llevar a cabo el balance de aguas subterráneas.

IV.3.1 Rendimiento específico “Sy”

Del trabajo elaborado por GUYSA (1996), se determinó un valor Sy de 0.035. Este valor es congruente con el tipo de acuífero (libre) y con la litología presente en el área de estudio, correspondiendo a material volcánico tobáceo con presencia de material de granulometría limosa (Walton, 1970), la cual es reportada en la literatura con valores de 0.02 a 0.35.

IV.3.2 Transmisividad “T”

La transmisividad es un parámetro que indica la capacidad de un medio para transmitir agua y puede ser determinado directamente de la interpretación de una prueba de bombeo.

Estudios proporcionados por CONAGUA correspondientes a la zona de estudio, presentan valores de 250 a 2851.2 m²/día, sin embargo, al analizar a detalle las gráficas que sustentan esta cifra, se concluyó que no se cuenta con los elementos suficientes para determinar si es un valor confiable o no.

Como se mencionó anteriormente, mediante las pruebas de bombeo se puede establecer este valor. De la interpretación de los datos medidos durante la recuperación, se obtuvo un valor de transmisividad de 150 m²/día, el cual es el valor más aceptable para el tipo de acuífero y roca almacenadora de agua.

IV.4 Piezometría

IV.4.1 Modelo piezométrico 1994

En la Figura 4.8 se observa la piezometría tomada del estudio hidrogeológico de 1994 elaborado por GUYSA. Cabe señalar que el límite del acuífero para este año no coincide con el límite administrativo publicado en 2009 en el Diario Oficial de la Federación.

Las líneas punteadas muestran equipotenciales inferidas a partir de una extrapolación elaborada con el método de Kriging y considerando la continuidad de las unidades geológicas.

Las cargas hidráulicas configuradas para 1994 van desde $h=1950$ msnm a $h=1900$ msnm y presenta un intervalo de valores para el gradiente hidráulico entre 0.2 y 0.008 (adim). En dicho plano se observa una tendencia de flujo hacia el NW.

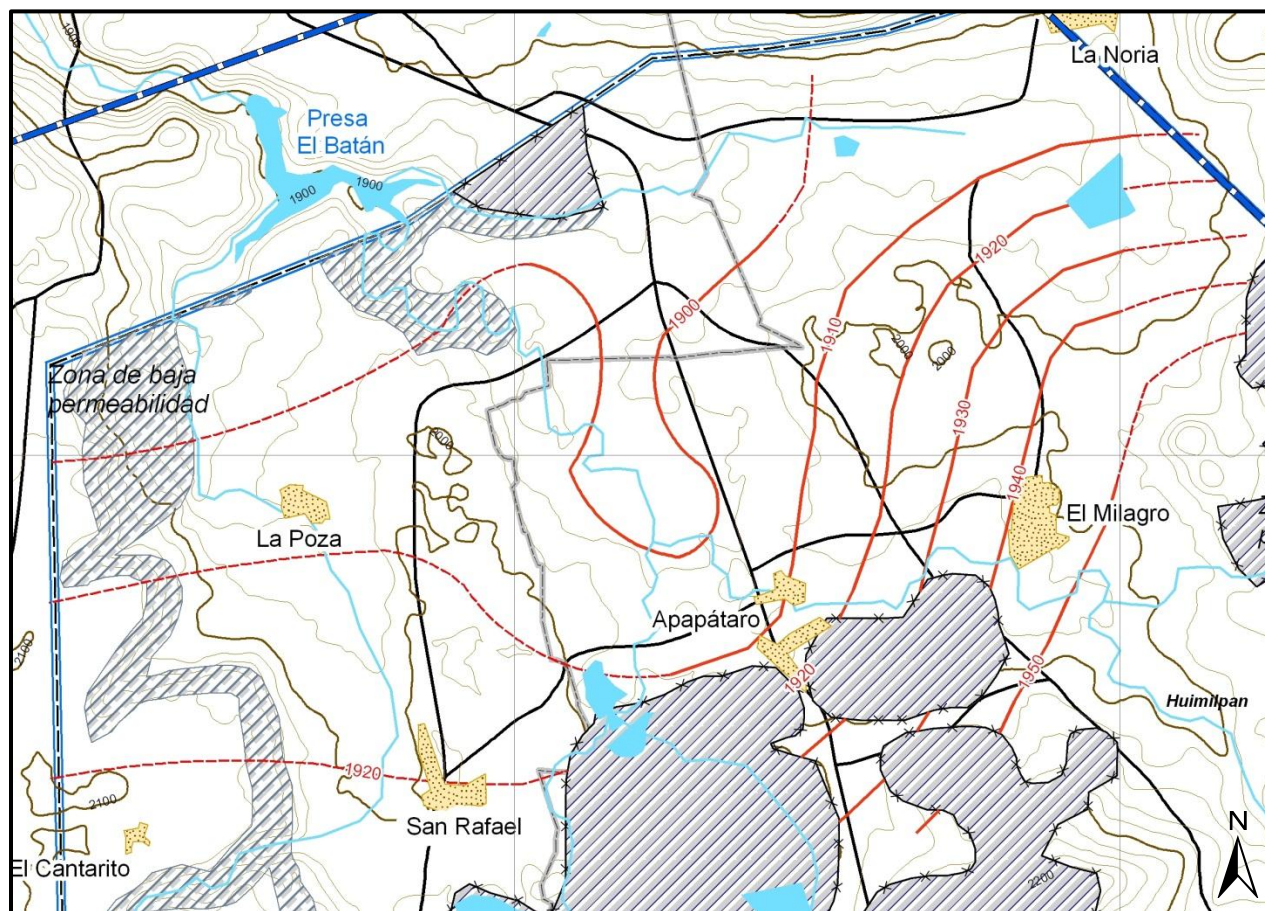


Figura 4.8 Modelo piezométrico (msnm) 1994.

IV.4.2 Modelo piezométrico 2010

La piezometría obtenida a partir del censo de los aprovechamientos se observa en la Figura 4.9. Al comparar la piezometría del 2010 con la de 1994 se tiene que el régimen hidráulico conserva la misma tendencia, es decir, las líneas de flujo van de SE a NW.

En la piezometría del año 2010, la pendiente en la porción N de la superficie freática se suaviza, por lo que aquí se dibujaron equipotenciales auxiliares a cada 1m, las cuales se muestran con una línea discontinua. Las cargas hidráulicas configuradas para ese año van desde $h=1960$ m a $h=1894$ m y presenta un rango de valores para el gradiente hidráulico entre 0.2 y 0.008 (adim).

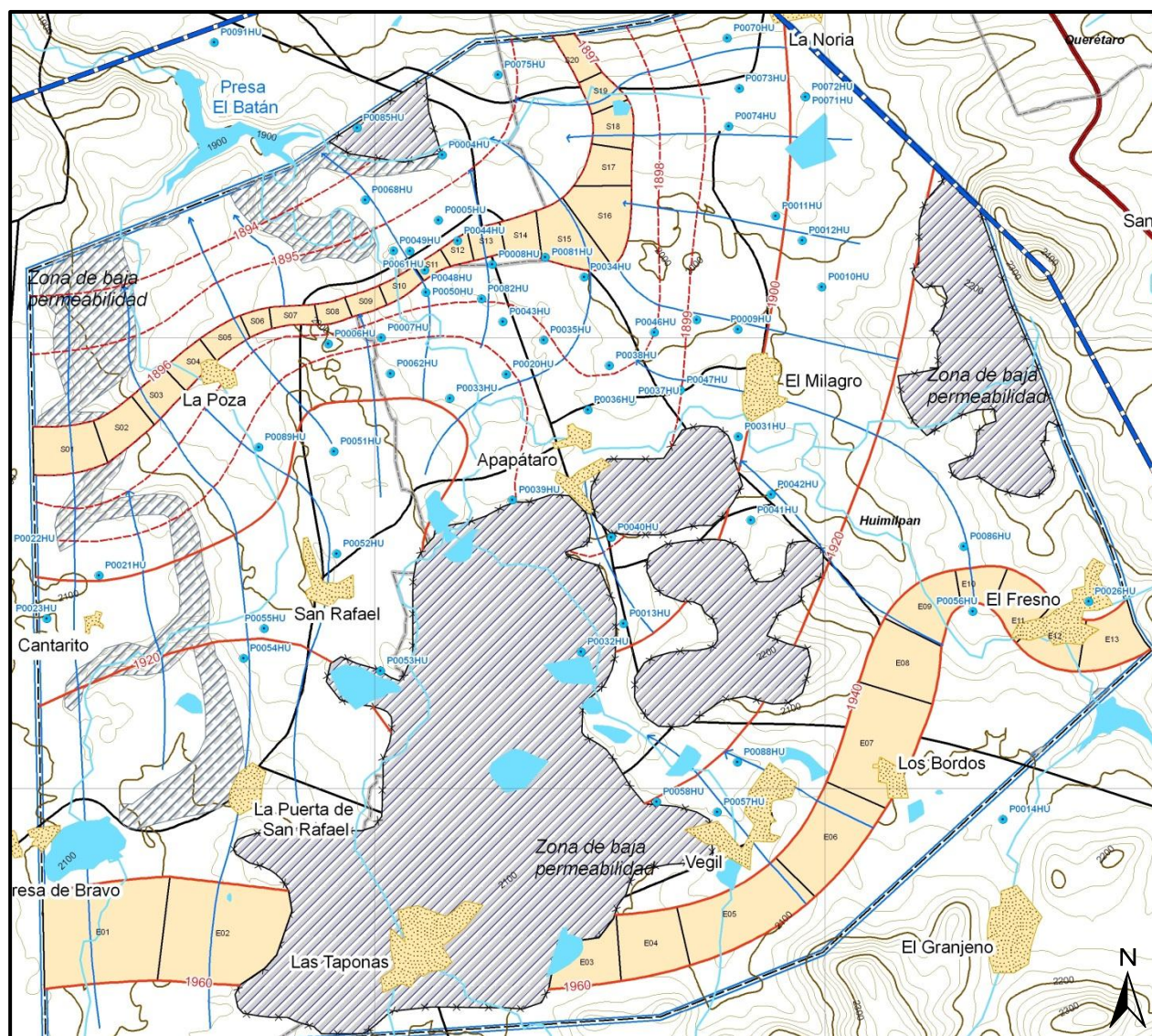


Figura 4.9 Modelo piezométrico (msnm) 2010.

IV.4.3 Evolución piezométrica 1994-2010

Con las piezometías de 1994 y 2010 se elaboró el mapa de evolución piezométrica (Figura 4.10) el cual se observa que en gran parte de la zona de balance registra valores negativos.

La zona donde convergen los ríos Taponas y Florido para formar el Río el Pueblito, permanece sin cambios considerables. En la zona de valores cercanos o igual que cero, que coincide con las cercanías con la Presa el Batán, en donde se encuentra el pozo P0085HU cuyo hidrógrafo (Anexo D) presenta una curva con picos positivos y negativos, lo cual se debe a que en épocas de estiaje la extracción en la vecindad de la Presa es exhaustiva por lo que hay pérdida y en épocas de avenidas hay una recuperación del nivel estático. Esto representa entonces que no hay una evolución de la piezometría congruente con el resto del acuífero. En esta zona el abatimiento promedio es de 0.3 m/año.

En la parte donde se localizan la mayor cantidad de aprovechamientos es donde se presentan los mayores abatimientos, lo que tiene sentido si se toma en cuenta que el área de balance donde afloran las andesitas presentan evoluciones mayores, ya que actúan como fronteras. En esta zona los abatimientos varían de 10 a 35 m para el periodo de 1994 a 2010, siendo en promedio de 0.6 m/año para los menores abatimientos y de 2.1 m/año para los mayores, dejando claro que las evoluciones piezométricas no son constantes a través del tiempo.

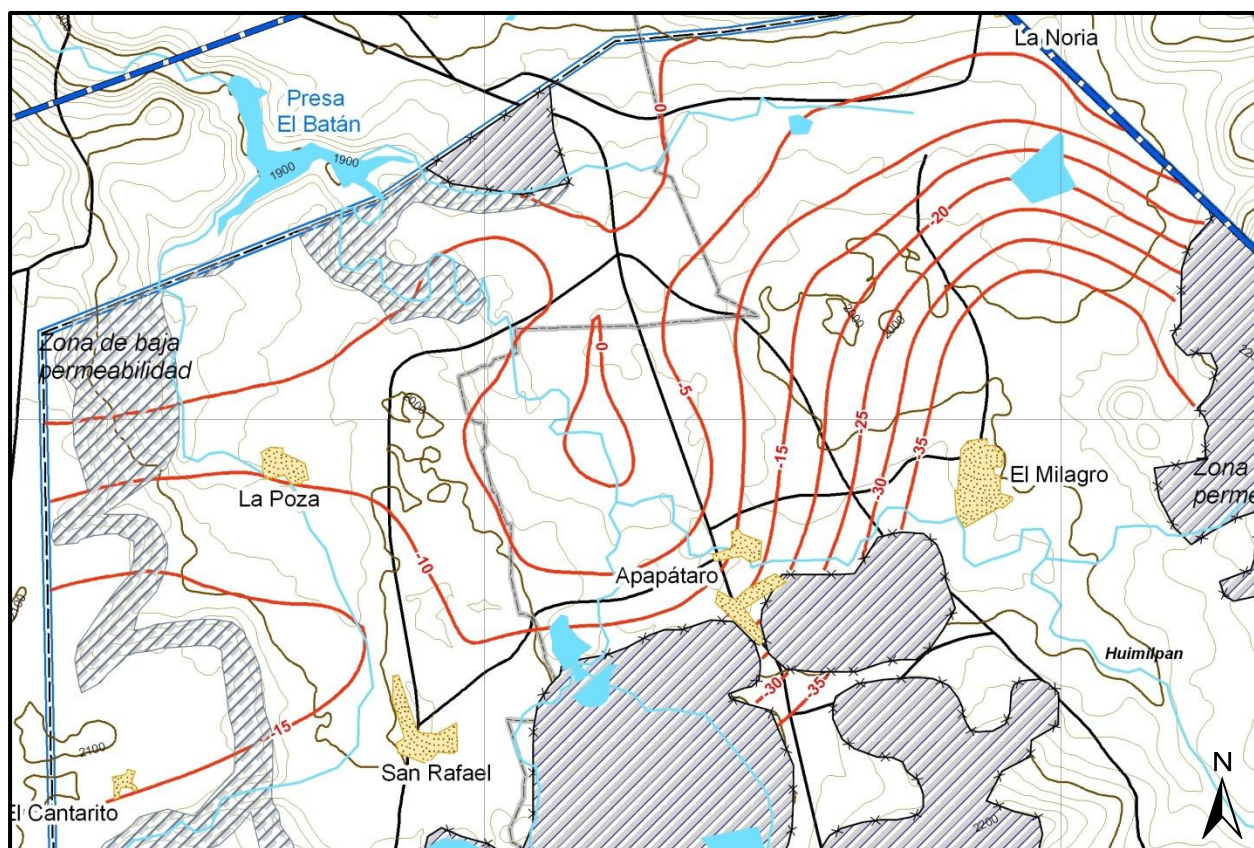


Figura 4.10 Evolución piezométrica (msnm) 1994-2010.

IV.5 Balance de aguas subterráneas

Las fronteras que se delimitaron para el área de balance son: al norte por la Falla La Noria, al oriente por la Falla Querétaro, al sur por el parteaguas superficial y al poniente por la Ignimbrita Huimilpan (IgH). En este perímetro delimitado se alojan la mayor cantidad de pozos del acuífero.

IV.5.1 Extracción por aprovechamientos de aguas subterráneas

El régimen de extracción de bombeo puede ser medido durante el censo de aprovechamientos. Sin embargo, la incertidumbre mostrada durante la jornada de campo, determinó que los datos deben ser validados en función del servicio que proporcionan ya que de los 65 pozos activos, 53 cuentan con datos de caudal de extracción y sólo 4 con tiempo de operación. Debido a la falta de información del régimen de extracción para cada aprovechamiento, se recurrió al estudio realizado por GUYSA (1996), del cual se extrajo los tiempos de operación de 61 pozos con lo cual se zonificó el área de balance para asignar un régimen de extracción estimado a los pozos actuales (Anexo E).

De esta manera se estimó que la extracción es de 23.67 Mm³/año, de los cuales 20.21 Mm³/año son extraídos por el sector agrícola; 1.79 Mm³/año para uso público-urbano; 0.22 Mm³/año con fines pecuarios y 1.45 Mm³/año para usos múltiples.

Clave del Aprovechamiento	Uso	Caudal (l/s) 2010	Hrs/año	Vol. extracción m ³ /año
P0007HU	MÚLTIPLE	40	10000	1450000
			Total	1.45 Mm³/año

Tabla 4.2 Volumen de extracción anual de agua subterránea en pozo de uso múltiple.

Clave del Aprovechamiento	Uso	Caudal (l/s) 2010	Hrs/año	Vol. extracción m ³ /año
P0006HU	PÚBLICO URBANO	10	3600	129600
P0018HU	PÚBLICO URBANO	10	5160	185760
P0019HU	PÚBLICO URBANO	10	5160	185760
P0025HU	PÚBLICO URBANO	9	5160	167184
P0026HU	PÚBLICO URBANO	8.7	7632	239034.24
P0027HU	PÚBLICO URBANO	9	5160	167184
P0028HU	PÚBLICO URBANO	10	3000	108000
P0089HU	PÚBLICO URBANO	16	8688	500428.8
P0090HU	PÚBLICO URBANO	10	2880	103680
			Total	1.79 Mm³/año

Tabla 4.3 Volumen de extracción anual de agua subterránea en pozos de uso público-urbano.

Clave del Aprovechamiento	Uso	Caudal (l/s) 2010	Hrs/año	Vol. extracción m³/año
P0008HU	AGRÍCOLA	36	2400	311040
P0009HU	AGRÍCOLA	35	4320	544320
P0010HU	AGRÍCOLA	65	8400	1965600
P0011HU	AGRÍCOLA	30	4080	440640
P0014HU	AGRÍCOLA	34	1920	235008
P0016HU	AGRÍCOLA	46	3960	655776
P0017HU	AGRÍCOLA	30	3960	427680
P0020HU	AGRÍCOLA	34	4320	528768
P0031HU	AGRÍCOLA	26	4320	404352
P0032HU	AGRÍCOLA	30	2880	311040
P0033HU	AGRÍCOLA	35	4080	514080
P0034HU	AGRÍCOLA	37	3456	460339.2
P0035HU	AGRÍCOLA	37.5	2400	324000
P0036HU	AGRÍCOLA	35.9	1440	186105.6
P0037HU	AGRÍCOLA	34	1800	220320
P0038HU	AGRÍCOLA	35	8064	1016064
P0039HU	AGRÍCOLA	35	4080	514080
P0040HU	AGRÍCOLA	36	1440	186624
P0044HU	AGRÍCOLA	17	2400	146880
P0045HU	AGRÍCOLA	34	4320	528768
P0046HU	AGRÍCOLA	35	4320	544320
P0047HU	AGRÍCOLA	50	3600	648000
P0048HU	AGRÍCOLA	2	8640	62208
P0049HU	AGRÍCOLA	16	8640	497664
P0050HU	AGRÍCOLA	17	8640	528768
P0051HU	AGRÍCOLA	42	2160	326592
P0052HU	AGRÍCOLA	32	336	38707.2
P0053HU	AGRÍCOLA	27	7488	727833.6
P0054HU	AGRÍCOLA	30	1440	402025
P0061HU	AGRÍCOLA	20	8640	622080
P0062HU	AGRÍCOLA	45	192	31104
P0064HU	AGRÍCOLA	36	3000	388800
P0068HU	AGRÍCOLA	35	1800	226800
P0070HU	AGRÍCOLA	30	1800	402025
P0071HU	AGRÍCOLA	8	2780	80064
P0072HU	AGRÍCOLA	60	5860	1265760
P0073HU	AGRÍCOLA	35	3600	453600
P0074HU	AGRÍCOLA	16	3600	207360
P0079HU	AGRÍCOLA	10	3960	142560
P0076HU	AGRÍCOLA	33	1800	213840
P0081HU	AGRÍCOLA	30	2400	259200
P0082HU	AGRÍCOLA	20	8640	622080
P0083HU	AGRÍCOLA	15	3960	213840
P0084HU	AGRÍCOLA	17	3960	242352
P0086HU	AGRÍCOLA	30	3960	427680
P0087HU	AGRÍCOLA	9	3960	128304
P0088HU	AGRÍCOLA	16	2208	127180.8
P0091HU	AGRÍCOLA	35	3648	459648
			TOTAL	20.21 Mm³/año

Tabla 4.4 Volumen de extracción anual de agua subterránea en pozos de uso agrícola.

Clave del Aprovechamiento	Uso	Caudal (l/s) 2010	Hrs/año	Vol. extracción m ³ /año
P0004HU	PECUARIO	3	1512	16329.6
P0015HU	PECUARIO	10	2616	94176
P0041HU	PECUARIO	5	5760	103680
P0056HU	PECUARIO	2	576	4147.2
			Total	0.22 Mm³/año

Tabla 4.5 Volumen de extracción anual de agua subterránea en pozos de uso pecuario.

IV.5.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal

Con el mapa de piezometría y la configuración de la red de flujo para el año 2010 (Plano No. 5, Anexo G), se determinó que la entrada subterránea proviene de la porción sur del acuífero, considerando la sección que va del norponiente del poblado Las Taponas, pasando por el sur del poblado El Vegil y que culmina cerca del poblado El Fresno.

El caudal de la entrada subterránea se obtuvo considerando la Ley de Darcy (1856), para un periodo de un año de sección de paso descrita anteriormente, obteniendo un valor de 15.72 Mm³ anuales (Tabla 4.6).

Celda	Sección de paso (m)	i (adim)	T (m ² /día)	Q (m ³ /día)	Q total (m ³ /día)	Q total (Mm ³ /año)
E01	1257.714	0.0222	150	4180.47	43060.5	15.72
E02	908.978	0.0177	150	2417.06		
E03	811.513	0.0177	150	2157.89		
E04	784.303	0.0169	150	1986.22		
E05	1598.419	0.0197	150	4722.60		
E06	1260.727	0.0177	150	3352.39		
E07	1269.400	0.0222	150	4219.31		
E08	649.664	0.0161	150	1570.47		
E09	519.366	0.0373	150	2907.46		
E10	348.341	0.0591	150	3087.57		
E11	478.034	0.0591	150	4237.12		
E12	777.949	0.0443	150	5171.59		
E13	860.356	0.0236	150	3050.35		

Tabla 4.6 Entradas por flujo subterráneo horizontal 2010.

IV.5.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal

Para las salidas por flujo subterráneo horizontal se empleó la misma metodología usada para el cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal. En esta ocasión se consideraron tosas aquellas celdas de la red de flujo en donde la dirección de la corriente conduce fuera del área del balance.

Se consideró como límite de descarga del acuífero la porción noroccidental, cerca de la presa El Batán, donde anteriormente se llevaba a cabo la descarga natural dando lugar a un manantial que registraba aforos considerables. El volumen de salida por flujo subterráneo horizontal es de 1.52 Mm³/año (Tabla 4.7).

Celda	Sección de paso (m)	i (adim)	T (m ² /día)	Q (m ³ /día)	Q total (m ³ /día)	Q total (Mm ³ /año)
S01	681.878	0.0025	150	285.01	4152.58	1.52
S02	503.261	0.0044	150	334.75		
S03	478.596	0.0050	150	388.42		
S04	509.142	0.0050	150	248.24		
S05	522.912	0.0047	150	359.61		
S06	332.668	0.0047	150	244.21		
S07	506.638	0.0048	150	287.08		
S09	402.416	0.0048	150	247.81		
S10	448.548	0.0052	150	281.16		
S11	343.208	0.0021	150	115.33		
S12	359.145	0.0041	150	259.39		
S13	373.125	0.0033	150	161.32		
S14	425.596	0.0031	150	81.77		
S15	328.983	0.0017	150	132.37		
S16	174.792	0.0014	150	68.68		
S17	517.309	0.0020	150	114.18		
S18	327.662	0.0025	150	223.67		
S19	378.592	0.0025	150	285.01		
S20	601.957	0.0044	150	334.75		

Tabla 4.7 Salidas por flujo subterráneo horizontal 2010.

IV.5.4 Cambio de volumen almacenado ΔV

El cambio de volumen almacenado se obtuvo mediante dos métodos: el primero a partir de ArcGis y el segundo considerando una tasa de abatimiento general calculada a partir de hidrógrafos.

Empleando ArcGis, se usaron las piezometrías de dos años disponibles (2010 y 1994) y mediante un algoritmo se hizo una resta entre las superficies.

Con los datos proporcionados para un total de 4 pozos se elaboraron hidrógrafos en los que se analizó la tendencia de abatimiento del nivel estático en un cierto periodo de tiempo. Con ello se logró determinar un valor de 0.42 m/año mediante un análisis estadístico (Anexo D), el cual es un valor cercano al obtenido con ArcGis (0.4139 m/año). Los resultados obtenidos mediante ambos métodos son similares, lo cual permite tener un grado de certidumbre en el valor que se utilizó para la ecuación de balance.

IV.5.5 Resultados del balance de aguas subterráneas

De acuerdo con las características del acuífero Valle de Huimilpan se propone la siguiente ecuación de balance:

$$Entradas - Salidas = \pm(\Delta V) \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$Es + Rv - (Ss + E) = \pm(\Delta V) \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

Es = entradas por flujo subterráneo horizontal ($Mm^3/año$).

Rv = recarga vertical ($Mm^3/año$).

Ss = salidas por flujo subterráneo horizontal ($Mm^3/año$).

E = extracción por aprovechamientos de agua subterránea ($Mm^3/año$).

ΔV = cambio de volumen almacenado ($Mm^3/año$).

La recarga vertical es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se cuenta con información para calcular las demás componentes, su valor será despejado de la ecuación de balance.

Llevando a cabo la resolución de la ecuación de balance que se propuso anteriormente, se obtuvo la recarga vertical que obtiene el acuífero a partir de la infiltración pluvial y retornos por riego, obteniendo los siguientes resultados:

$$Rv = \Delta V - Es + (Ss + E) \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

$$Rv = Rr + Ip \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde:

Ip = Infiltración pluvial ($Mm^3/año$).

Rr =Retornos por riego ($Mm^3/año$).

Δ Volumen ($Mm^3/año$)	Entrada Subterránea ($Mm^3/año$)	Salida Subterránea ($Mm^3/año$)	Extracción ($Mm^3/año$)	Recarga Vertical ($Mm^3/año$)
-1.62	15.72	1.52	23.67	7.85

Tabla 4.8 Volumen de recarga vertical calculado a partir del balance de agua subterránea.

Los 7.85 $Mm^3/año$ agua provenientes de la recarga vertical equivalen a alrededor del 10% de la lámina de precipitación media anual (745 mm). Este valor se obtiene dividiendo la lámina de precipitación entre el área de balance (81.95 m^2).

IV.6 Escenarios hipotéticos de explotación

Los escenarios hipotéticos de explotación son una herramienta que permite conocer el comportamiento que tendrá en un futuro el sistema acuífero. Debido a que el comportamiento que tiene el acuífero depende principalmente de la extracción que se realiza en éste, se llevarán a cabo dos escenarios con base en dos sistemas de extracción y un tercer escenario considerando el crecimiento poblacional.

V.6.1 Escenario hipotético de explotación con base en el incremento de la extracción

La futura implementación y concesión de aprovechamientos en el acuífero Valle de Huimilpan implica un aumento en la extracción y como consecuencia esto generará a largo plazo que el acuífero sufra abatimientos considerables.

A continuación se presentan los porcentajes de incremento de la extracción tomando como base las extracciones actuales.

		Incremento en la extracción (%)					
		Extracción (Mm ³ /año)	10	20	30	40	50
Uso	Público - Urbano	1.79	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7
	Agrícola	20.21	22.2	24.3	26.3	28.3	30.3
	Pecuario	0.22	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Múltiple	1.45	1.6	1.7	1.9	2	2.2
	Total (Mm³/año)	23.67	26	28.4	30.8	33.1	35.5

Tabla 4.11 Incremento de la extracción con base en la extracción actual.

Considerando los valores obtenidos con el incremento de la extracción y tomando como fijos la entrada subterránea, la salida subterránea y la recarga vertical se obtiene el cambio de volumen almacenado con la ecuación de balance antes propuesta.

Incremento Extracción (%)	Entrada por flujo subterráneo horizontal (Mm ³ /año)	Salida por flujo subterráneo horizontal (Mm ³ /año)	Extracción (Mm ³ /año)	Recarga Vertical (Mm ³ /año)	ΔV (Mm ³ /año)
10	15.72	1.52	26	7.85	-3.95
20	15.72	1.52	28.4	7.85	-6.35
30	15.72	1.52	30.8	7.85	-8.75
40	15.72	1.52	33.1	7.85	-11.05
50	15.72	1.52	35.5	7.85	-13.45

Tabla 4.12 Cálculo del volumen almacenado con las estimaciones realizadas si incrementa la extracción.

Teniendo el cambio de volumen almacenado se calculan los abatimientos que se producirán en el acuífero.

Abatimiento (m)	Incremento en la extracción (%)
-1	10
-1.6	20
-2.2	30
-2.9	40
-3.5	50

Tabla 4.13 Abatimientos calculados a partir del volumen almacenado con el incremento de la extracción.

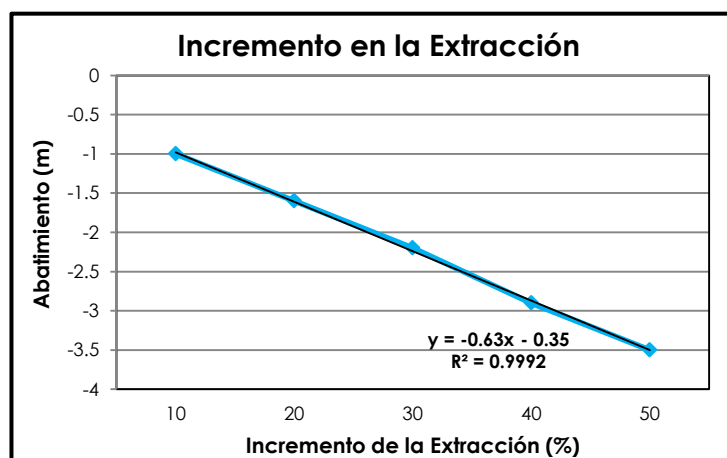


Figura 4.10 Incremento de la extracción vs abatimiento.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 4.10, si la extracción aumenta tan solo un 10% el abatimiento generado sería de 1 m, es decir 0.58 m más que el abatimiento actual.

El aumento de la extracción es un tema delicado ya que las concesiones que se planean hacer en un futuro (CEA, 2010) no toman en cuenta el bombeo a largo plazo, el cual generará que el sistema acuífero sufra abatimientos considerables que pueden llegar a causar que la extracción no se llegue a sostener como se hace en la actualidad.

V.6.2 Escenario hipotético de explotación con base en la disminución de la extracción

Semejante al caso anterior pero llevando a cabo una disminución en la extracción actual se plantean a continuación las cifras obtenidas.

		Extracción (Mm³/año)	Disminuye la Extracción (%)				
			5	10	15	20	25
Uso	Público - Urbano	1.79	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
	Agrícola	20.21	19.2	18.2	17.2	16.2	15.2
	Pecuario	0.22	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Múltiple	1.45	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
	Total (Mm³/año)	23.67	22.5	21.3	20.1	18.9	17.8

Tabla 4.14 Disminución de la extracción con base en la extracción actual.

Se obtiene el cambio de volumen almacenado con la ecuación de balance de aguas subterráneas con los nuevos valores de extracción.

Disminuye Extracción (%)	Entrada por flujo subterráneo horizontal (Mm ³ /año)	Salida por flujo subterráneo horizontal (Mm ³ /año)	Extracción (Mm ³ /año)	Recarga Vertical (Mm ³ /año)	ΔV (Mm ³ /año)
5	15.72	1.52	22.5	7.85	-0.45
10	15.72	1.52	21.3	7.85	0.75
15	15.72	1.52	20.1	7.85	1.95
20	15.72	1.52	18.9	7.85	3.15
25	15.72	1.52	17.8	7.85	4.25

Tabla 4.15 Cálculo del volumen almacenado con las estimaciones realizadas si disminuye la extracción.

Se calculan los abatimientos con base en el cambio de volumen almacenado obtenido.

Abatimiento (m)	Disminuye la extracción (%)
-0.1	5
0.2	10
0.5	15
0.8	20
1.1	25

Tabla 4.16 Abatimientos calculados a partir del volumen almacenado con la disminución de la extracción.

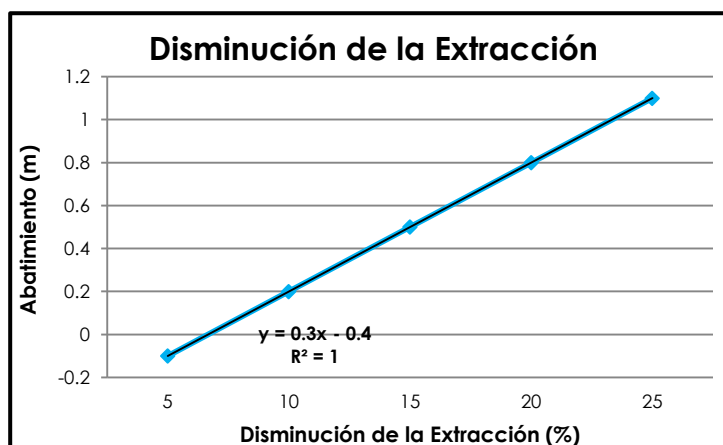


Figura 4.11 Disminución de la extracción vs abatimiento.

Al analizar la gráfica mostrada en la Figura 4.11, si la extracción se reduce un 2.5%, el nivel estático tendrá una recuperación de 0.32 m y al disminuirla un 5% el acuífero se encontrará en equilibrio, es decir las entradas al sistema acuífero son mayores al caudal extraído.

V.6.3 Escenario hipotético de explotación con base en la evolución demográfica

Uno de los principales beneficiados del recurso hídrico es la población, la cual depende directamente de ella para su desarrollo lo que significa que al crecer la población tendrá que aumentar la necesidad de agua.

Las obras de implementación del recurso hídrico no se diseñan para satisfacer sólo una necesidad del momento actual sino que deben prever el crecimiento de la población en un periodo de tiempo.

Actualmente el acuífero Valle de Huimilpan abastece aproximadamente a 15,000 personas (INEGI, 2011). El Fondo de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud (2011) establecen que por persona se deben de consumir al día 80 litros los cuales son 29,200 litros al año. El recurso hídrico en la zona de estudio por persona es de 90,228 litros al año, dos veces más lo necesario por persona anualmente.

Para llevar a cabo una estimación del recurso hídrico en este escenario lo primero a considerar es el incremento que la población tendrá. El incremento de la población se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$$P_f = P_a \left(1 + \frac{rt}{1000} \right) \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

P_f = Población futura.

P_a = Población actual.

r = Coeficiente de crecimiento anual por cada 1000 habitantes.

t = Tiempo en años.

Para la zona de estudio se tiene un coeficiente de crecimiento anual de 19 personas por cada 1000 habitantes, por lo tanto sustituyendo los valores conocidos en la fórmula, obtendremos la población futura para un periodo de 10, 20, 30, 40 y 50 años (Tabla 4.17).

Años	Población Futura
10	17850
20	20700
30	23550
40	26400
50	29250

Tabla 4.17 Crecimiento poblacional para la zona que abarca el acuífero Valle de Huimilpan.

Las cifras obtenidas muestran que a pesar del crecimiento poblacional que exista en un futuro, el acuífero Valle de Huimilpan no tendrá que sobreexplotarse para el abastecimiento poblacional.

Debido a que actualmente la población no carece de agua se plantea que a partir de este escenario y con una perspectiva de explotación a los 10 años siguientes el régimen de explotación sea de 0.53 Mm³/año, es decir solo el 29.6% de la explotación actual.

Si la propuesta antes mencionada se lleva a cabo el balance de aguas subterráneas queda de la siguiente forma:

Δ Volumen (Mm ³ /año)	Entrada por flujo subterráneo horizontal (Mm ³ /año)	Salida por flujo subterráneo horizontal (Mm ³ /año)	Extracción (Mm ³ /año)	Recarga Vertical (Mm ³ /año)
-0.36	15.72	1.52	22.41	7.85

Tabla 4.18 Balance de aguas subterráneas a partir de la disminución del 10% de la extracción actual de uso público-urbano.

Con los parámetros antes obtenidos el cambio del volumen almacenado se recupera 1.26 Mm³/año y el abatimiento que sufrirá el nivel estático será de 0.09 m/año.