



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL
ACUÍFERO VALLE DE HUIMILPAN,
ESTADO DE QUERÉTARO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA

MARIANA AURORA GERMÁN SÁNCHEZ

DIRECTOR:

DR. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIÚ



MÉXICO, D.F.
2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Resumen

El agua es el sustento más importante para el desarrollo económico, cultural y social de nuestro país, es imprescindible no hablar de ella sin pensar en su origen subterráneo.

En la última década, la extracción de agua subterránea ha aumentado significativamente, lo que ha llevado a incrementar la conciencia sobre la gestión del recurso hídrico para asegurar su desarrollo sostenible a largo plazo, la cual se basa en las estimaciones que se realizan sobre su recarga, por lo tanto es vital llevar a cabo un estudio hidrogeológico.

La presente tesis se basa en el estudio realizado en el acuífero Valle de Huimilpan, localizado al sur del estado de Querétaro, el cual alberga dicho acuífero emplazado en rocas volcánicas y cuyo comportamiento va de libre a semiconfinado.

El objetivo principal de la tesis es estimar la recarga, entradas y salidas del agua subterránea del sistema acuífero Valle de Huimilpan, por medio de un balance de aguas subterráneas. Para entender mejor el sistema acuífero se llevó a cabo tanto trabajo de gabinete como de campo, lo que incluye recopilación de la información, campaña de verificación geológica y geohidrológica, además de pruebas de bombeo para conocer los parámetros hidráulicos y llevar a cabo la actualización de éstos.

En el acuífero Valle de Huimilpan hay un total de 79 aprovechamientos, 65 activos, de los cuales el 84.5% se destina a la agricultura, 7.6% al uso público urbano, 0.9% con fines pecuarios y el 6.1% para usos múltiples.

A partir de 1994 a la fecha, se han registrado abatimientos promedio de 0.5 m/año, lo que representará en caso de no revertirse problemas de abastecimiento para la capacidad instalada.

Con los resultados obtenidos del balance de aguas subterráneas se llevaron a cabo escenarios hipotéticos de explotación, los cuales en caso de llegarse a implementar en el área de estudio, lograrán que el acuífero se mantenga en equilibrio.

La gestión adecuada de los recursos de agua subterránea se logra mediante el equilibrio de la explotación del recurso y las crecientes exigencias de los usuarios, los cuales pueden representar una amenaza a la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico.

Abstract

Water is the most important input for the economic, cultural and social development of our country. Therefore, it is imperative not to talk about it without thinking about its underground origin.

In the last decade, the extraction of groundwater has increased significantly, which has led to increased awareness of water resource management to ensure long term sustainable development, which is based on the estimates made on the recharge. This is why it is vital to undertake a hydrogeological study.

This thesis is based on the study of Huimilpan Valley Aquifer, located in the south of the State of Querétaro, which hosts this aquifer located in volcanic rocks and its behavior is unconfined to semiconfined.

The main aim of this thesis is to estimate the recharge, inflow and outflow of groundwater of Huimilpan Valley Aquifer system through groundwater balance. To better understand the aquifer behavior was performed both desk and field work, including data existing recompilation, geological verification and hydrogeological campaigns, as well as pumping tests to know the hydraulic parameters and carry out the updating of these.

Huimilpan Valley Aquifer has 79 wells, being 65 of them in operation, of which 84.5% is for agriculture, 7.6% for public urban use, 0.9% for livestock and 6.1% for multiple purposes.

Since 1994, there have been drawdowns averaging 0.5 m/year, representing if not reversed supply problems for the wells capacity installed.

With the results of the groundwater balance were carried out hypothetic operating scenarios, which in the event of being implemented in the study area, will make the aquifer stay in balance.

Proper management of groundwater resources is achieved by balancing resource exploitation and the growing demands of the users, which may represent a threat to the availability and quality of water resources.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

GRUPO DE HIDROGEOLOGÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Esta tesis representa la **septima** contribución del Grupo de Hidrogeología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM a la comunidad científica, la cual fortalece el conocimiento en el ámbito hidrogeológico de nuestro gran país.



ÍNDICE

Capítulo I. GENERALIDADES

I.1 Antecedentes	2
I.1.1 Antecedentes internacionales	2
I.1.2 Perspectivas de manejo desde el punto de vista de la Comisión Nacional del Agua	12
I.2 Objetivos	14
I.2.1 General	14
I.2.2 Particulares	14
I.3 Justificación	15
I.4 Localización y vías de acceso	16

Capítulo II. METODOLOGÍA

II.1 Recopilación y análisis de la información	19
II.2 Trabajo de campo	22
II.2.1 Verificación geológica y geohidrológica de campo	22
II.2.2 Censo de aprovechamientos	23
II.2.3 Mediciones piezométricas	25
II.2.4 Uso del agua subterránea	25
II.3 Pruebas de bombeo	27
II.4 Modelo piezométrico 2010	30

Capítulo III. ENTORNO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO

III.1 Localización geográfica	33
III.2 Geología	35
III.2.1 Fisiografía	35
III.2.2 Geomorfología	36
III.2.3 Marco tectónico	36
III.2.4 Geología regional	39
III.3 Unidades hidrogeológicas	46
III.4 Hidrología superficial	46
III.4.1 Climatología	47
III.4.2 Precipitación	48
III.5 Hidrología subterránea	49
III.5.1 Tipo de acuífero	49
III.5.2 Parámetros hidráulicos	50

Capítulo IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 Uso del agua subterránea	52
IV.2 Pruebas de bombeo	53
IV.3 Parámetros hidráulicos del acuífero	56
IV.3.1 Rendimiento específico "Sy"	56
IV.3.2 Transmisividad "T"	56
IV.4 Piezometría	56
IV.4.1 Modelo piezométrico 1994	56
IV.4.2 Modelo piezométrico 2010	57
IV.4.3 Evolución piezométrica 1994-2010	58
IV.5 Balance de aguas subterráneas	60
IV.5.1 Extracción por aprovechamientos de aguas subterráneas	60
IV.5.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal	62
IV.5.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal	62
IV.5.4 Cambio de volumen almacenado ΔV	63

IV.5.5 Resultados del balance de aguas subterráneas	64
IV.6 Escenarios hipotéticos de explotación	65
V.6.1 Escenario hipotético de explotación con base en el incremento de la extracción	65
V.6.2 Escenario hipotético de explotación con base en la disminución de la extracción	66
V.6.3 Escenario hipotético de explotación con base en la evolución demográfica	68
Capítulo V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
V.1 Conclusiones	71
V.2 Recomendaciones	72
REFERENCIAS CITADAS	75
ANEXO A Puntos de Verificación Geológica	80
ANEXO B Censo de Aprovechamientos	101
ANEXO C Pruebas de Bombeo	107
ANEXO D Hidrógrafos	116
ANEXO E Mapa de Horas de Bombeo de Aprovechamientos	122
ANEXO F Memoria de Cálculo	124
ANEXO G Planos	128



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Capítulo 1

Generalidades

- I.1 Antecedentes
- I.2 Objetivos
- I.3 Justificación
- I.4 Localización y vías de acceso

I.1 Antecedentes

I.1.1 Antecedentes internacionales

El agua subterránea es un elemento importante en México ya que provee agua a los sistemas hidrológicos y ayuda al sustento del desarrollo económico, cultural y social del país.

Debido al aumento significativo de la extracción de agua subterránea durante la última década, ésta situación ha llevado a incrementar la conciencia sobre la gestión del recurso hídrico para asegurar su desarrollo sostenible a largo plazo. La gestión del agua subterránea se basa en las estimaciones que se hacen sobre su recarga primordialmente.

La recarga del agua subterránea se refiere al proceso mediante el cual se lleva a cabo el abastecimiento de agua por debajo de la superficie ya sea por infiltración directa de lluvia o por infiltración de los cuerpos de agua tales como ríos y lagos. El proceso de recarga consiste en un movimiento descendente del agua en los poros del suelo o roca hasta que se alcanza el nivel freático.

Mientras el agua se mueve desde la superficie hacia la zona saturada a través de la zona vadosa, una porción se perderá por evaporación y por evapotranspiración y una pequeña proporción se alojará en los poros de la zona no saturada.

La recarga de agua subterránea se divide en:

1. *Recarga difusa*: recarga derivada de la lluvia o por retornos de riego que ocurren en la zona.
2. *Recarga localizada*: recarga de ríos, lagos, humedales y depresiones en la superficie.

Los factores clave que controlan la recarga de agua subterránea son:

- Climáticos, la cantidad e intensidad de la lluvia y evaporación.
- Propiedades hidráulicas del suelo y del acuífero.
- Tipo y cantidad de vegetación presente y el tipo de uso de la tierra.
- Topografía, particularmente la pendiente de la superficie de la tierra.
- La naturaleza y geometría de los acuíferos dentro de la cuenca.
- La humedad residual almacenada en el suelo de precipitaciones anteriores.

La cantidad de recarga que ocurre en un área impacta directamente en las características físicas y el comportamiento del agua subterránea, lo que debe de ser considerado para la gestión del agua subterránea y superficial.

Las estimaciones de la cantidad de agua que entra al sistema y la velocidad a la que se transmite a través del acuífero son esenciales para evitar una sobreexplotación, la cual causaría que el nivel freático bajara y por lo tanto una disminución del suministro hídrico, la subsidencia del terreno y la disminución en la contribución de agua subterránea en el flujo base de sistemas fluviales. Si la cantidad total de agua subterránea que se bombea es mayor que la que se recarga puede haber un impacto local.

La velocidad a la que ocurre la recarga del recurso hídrico está influida por factores como la cantidad de agua de lluvia, el suelo, las propiedades hidráulicas del acuífero y la vegetación. La recarga difusa se ha estimado como un porcentaje de la precipitación anual promedio, siendo en algunos casos necesaria una elevada cantidad agua de lluvia para que la recarga sea considerable.

A continuación se presentan algunos de los métodos más comunes para estimar la recarga del agua subterránea:

1. Trazadores

Los elementos químicos ajenos al agua subterránea pueden ser usados para rastrear su movimiento, dando información tal como el tiempo de permanencia en la zona saturada y las fuentes de recarga, por ejemplo el agua subterránea que provenga de inundaciones tendrá una química diferente a la que ha estado sujeta a evaporación cerca de la superficie.

1.1 Trazadores aplicados

Los trazadores químicos o isotópicos se aplican en la superficie del suelo o a una profundidad determinada dentro del perfil del suelo para estimar la recarga (Sharma *et. al.*, 1985). La infiltración de la precipitación o la irrigación transportan los trazadores a profundidad. Los trazadores de este tipo más usados son el Bromuro, el Tritio (^3H) y los colorantes visibles (Scalon *et. al.*, 2002). Los tintes orgánicos visibles se usan generalmente para evaluar el flujo preferencial subterráneo (Flury *et. al.*, 1994).

La distribución en el subsuelo de los trazadores se determina en ocasiones después de la aplicación de éstos en una zanja cavada para llevar a cabo

inspección visual y muestreo o perforando pozos de exploración. La distribución vertical de los trazadores se usa para estimar la velocidad de recarga mediante la siguiente ecuación:

$$R = v\vartheta = \frac{\Delta z}{\Delta t}\vartheta \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

R = velocidad de recarga.

v = velocidad (m/d).

ϑ = contenido volumétrico del agua (m^3/m^3).

Δz = profundidad del trazador (m).

Δt = tiempo entre la aplicación del trazador y el muestreo (d).

El flujo de agua mínimo que puede ser medido con los trazadores aplicados depende en el tiempo entre la aplicación y el muestreo. El flujo de agua máximo que se puede medir depende de la profundidad de la superficie freática.

Los trazadores se aplican generalmente en un punto o en áreas pequeñas (10 a 200 m^2). Las tasas de recarga que se calculan mediante este método representan el tiempo entre la aplicación y el muestreo, que es generalmente en meses o años.

2.2 Trazadores históricos

Los trazadores históricos son el resultado de las actividades antrópicas o eventos del pasado, tal como derrames de contaminantes (Nativ *et. al.*, 1995) o pruebas nucleares atmosféricas (^3H y ^{36}Cl). Este tipo de trazadores se han usado los últimos 50 años para estimar la recarga.

Las fuentes industriales y agrícolas producen contaminantes como bromuro, nitratos, atrazina y arsénico, los cuales pueden proveer una evidencia cualitativa de recarga reciente, sin embargo la incertidumbre con respecto a la ubicación de la fuente de origen, la concentración y el momento en que se originó la contaminación, así como el comportamiento de los contaminantes, hacen que la cuantificación de la recarga sea difícil.

La concentración pico de los trazadores nucleares (^3H y ^{36}Cl) se puede usar para estimar la velocidad de recarga con el uso de la ecuación usada para los trazadores aplicados.

$$R = \frac{z}{t} \vartheta \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

R = velocidad de recarga.

ϑ = contenido volumétrico promedio de agua por encima de la concentración pico (m^3/m^3).

z = profundidad donde el trazador tiene la concentración pico (m).

t = tiempo entre la caída del pico del trazador y el tiempo en el que las muestras fueron colectadas (d).

El uso del ^3H ha sido reemplazado por los clorofluorocarbonos (CFCs) y Tritio/Helio-3 ($^3\text{H}/^3\text{He}$) (Scanlon *et. al.*, 2002). Estos trazadores son gaseosos y se usan solo en la zona saturada ya que estando en esta zona no pueden interactuar con la atmósfera. Los CFCs y el $^3\text{H}/^3\text{He}$ pueden ser usados para estimar las tasas de recarga donde el flujo es principalmente vertical.

La recarga del agua se puede estimar también mediante la estimación de la edad del agua subterránea. La edad se define como el tiempo desde que el agua entró en la zona saturada. La edad del agua subterránea se estima fácilmente de los CFCs, comparando las concentraciones de CFCs en el agua subterránea con la concentración presente en el agua de lluvia. La edad del agua subterránea t se calcula a partir de información de $^3\text{H}/^3\text{He}$ mediante la siguiente ecuación:

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{^3\text{He}_{\text{trit}}}{^3\text{H}} \right) \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

λ = constante de decaimiento $\left(\frac{\ln 2}{t^{1/2}} \right)$.

$t^{1/2}$ = vida media de ^3H (12.43 años).

$^3\text{He}_{\text{trit}}$ = concentración de ^3He tritiogénico (He que proviene del decaimiento del H, mg/l).

^3H = concentración de tritio (mg/l).

El uso de esta ecuación asume que el sistema es cerrado, es decir, no permite el escape de ^3He . La edad del agua aumenta linealmente a una profundidad cercana al nivel freático y tendrá un comportamiento no lineal a mayores profundidades.

La recarga se puede estimar fechando el agua en varios puntos, multiplicando la velocidad del agua subterránea por la porosidad para

una profundidad determinada (Cook & Solomon, 1997). Los CFCs y $^3\text{H}/^3\text{He}$ se usan para determinar edades de hasta aproximadamente 50 años.

El uso de los CFCs se debe emplear solamente en áreas rurales que no hayan sido afectadas por tanques sépticos debido a que se les asocia con la contaminación de áreas industriales y residenciales, mientras que el método de $^3\text{H}/^3\text{He}$ se puede usar tanto en áreas contaminadas como no contaminadas. El muestreo de CFCs y $^3\text{H}/^3\text{He}$ es complejo y de alto costo.

2.3 Trazadores ambientales

Los trazadores ambientales son sustancias que se producen naturalmente en la atmósfera terrestre. Estos trazadores son capaces de indicar los movimientos del agua por largos periodos de tiempo a diferencia de los trazadores artificiales, los cuales muestran el movimiento del agua en escalas pequeñas tanto temporales como espaciales.

El trazador ambiental más usado es el cloruro. El ión cloruro (Cl^-) ha sido usado para estimar la recarga porque es altamente soluble, no se absorbe, es conservativo y es abundante en el agua de lluvia. El método denominado como balance de cloruros es barato y de uso universal para la estimación de la recarga. La aplicación de este método se basa en la comparación de la tasa de deposición de cloruros en la superficie del suelo con la concentración en el agua del suelo o el agua subterránea.

La concentración de Cl^- aumenta en relación de la concentración del agua de lluvia como resultado de la intercepción, evaporación y/o absorción de agua por las raíces de las plantas (Subyani y Sen, 2006). La deposición total de Cl^- y la profundidad de precipitación total determinan la concentración de Cl^- del agua de lluvia presente en la superficie. La evaporación y recarga posterior puede ser estimada por el aumento de la concentración de cloruros, siempre y cuando no exista una fuente cercana de éstos.

La aplicación del método de balance de cloruros involucra un conjunto de supuestos que se deben de tomar en cuenta al interpretar los resultados. Los supuestos para el cálculo de la recarga son:

1. La única fuente que provee Cl^- al agua subterránea es la proveniente de la lluvia. Por esta razón este método es válido solo para las partes altas de la zona en estudio.
2. No hay fuentes o zonas en donde se pueda llevar a cabo la concentración de Cl^- en el área de estudio. Una fuente de cloruros en

el suelo, tal como la halita, y la absorción de agua de las plantas generan una distorsión de los resultados que se obtienen por este método.

3. El agua de lluvia se evapora o se infiltra en la región sin ningún tipo de escurrimiento. Esta hipótesis es poco realista y solo es válida para eventos que presenten lluvias de baja intensidad.
4. Las precipitaciones y las concentraciones de Cl^- estarán en equilibrio, es decir, estarán en estado estacionario. Esto implica que las fluctuaciones de la precipitación y del Cl^- son despreciables.

Wood y Sanford (1995) presentaron la siguiente ecuación para llevar a cabo la estimación de la recarga:

$$R = \frac{P \cdot Cl_{war}}{Cl_{gw}} \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde:

R = recarga (mm/año).

P = precipitación media anual (mm/año).

Cl_{war} = concentración promedio de Cl^- en el agua de lluvia (mg/l)

Cl_{gw} = concentración promedio de Cl^- en el agua subterránea (mg/l).

Este método debe de ser empleado con cuidado ya que en condiciones en donde se tengan precipitaciones abundantes durante largos periodos, la concentración de Cl^- del agua subterránea se presentará con valores altos, resultando en una sobreestimación de la recarga.

2. Modelos numéricos

La calibración o inversión de los modelos de agua subterránea son usados para predecir las tasas de recarga a partir de cargas hidráulicas, conductividades hidráulicas, transmisividades y otros parámetros. La recarga y la conductividad hidráulica se ajustan para la simulación estacionaria mientras que para simulaciones transitorias reproducen las variaciones temporales en la recarga.

El cálculo de la recarga también se puede estimar llevando a cabo inversiones en conjunto que combinan la carga hidráulica y la edad del agua subterránea. Mientras que la carga hidráulica es sensible a la relación de la recarga a la conductividad hidráulica, la edad del agua subterránea es sensible a la relación de la recarga a la porosidad (Portniaguine *et. al.*, 1998).

El uso de la carga hidráulica y la edad del agua provee restricciones en la recarga, conductividad hidráulica y la porosidad ya que estos tres parámetros están correlacionados y una solución única requiere información de al menos uno de éstos. La porosidad generalmente varía mucho menos que la recarga o la conductividad hidráulica, por lo tanto la porosidad se puede calcular para el sistema.

La habilidad de usar los modelos numéricos para simular la recarga del agua subterránea ha hecho más fácil el desarrollo de las técnicas de modelación, en donde se usan algoritmos para obtener el mejor ajuste entre los datos medidos y calculados.

La metodología para la simulación de la dinámica del agua subterránea es:

1. Análisis de la información.
2. Generación de un modelo conceptual.
3. Selección del código a utilizar en la simulación.
4. Diseño del modelo.
5. Calibración del modelo.
6. Análisis de sensibilidad.
7. Presentación de resultados.

3. Fluctuación del nivel freático

El método de fluctuación del nivel freático provee una estimación de la recarga de agua subterránea mediante un análisis de las fluctuaciones de los niveles del agua en pozos de observación (Healy y Cook, 2002). El método se basa en la suposición de que un aumento en los niveles freáticos medidos en pozos someros es causa de la recarga a lo largo del nivel freático. Este método es solo aplicable a acuíferos libres.

La recarga de agua subterránea se estima de la siguiente forma:

$$R_t = S_y \cdot \Delta H \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

Donde:

R_t = recarga en un tiempo t (cm).

S_y = rendimiento específico del acuífero (adim.).

ΔH = máximo del nivel de agua que se atribuye a la recarga en un tiempo t (cm).

Para que este método tenga una aplicación exitosa se deben de tener en cuenta las siguientes suposiciones:

- El hidrógrafo muestra solo fluctuaciones causadas por la recarga y descarga de agua subterránea.
- El rendimiento específico se conoce y es constante durante el periodo de las fluctuaciones.
- La recarga anterior de agua subterránea se conoce y se puede extrapolar para determinar ΔH .

Las estimaciones del rendimiento específico provienen de pruebas de laboratorio y de campo tales como la determinación de la curva de retención de humedad de un suelo, pruebas de bombeo con pozos de observación y pruebas slug.

4. Balance de aguas subterráneas

El balance de aguas subterráneas se fundamenta en la aplicación del principio de conservación de las masas a un sistema hidrológico conceptualizado como un paquete de unidades geológicas por las cuales transita y se almacena temporalmente el agua subterránea.

Un balance de aguas subterráneas convencional acude a los siguientes puntos fundamentales: cambio de almacenamiento, infiltración (recarga vertical), extracción o bombeo, entradas y salidas por flujo subterráneo horizontal. Normalmente la solución a cada uno de los elementos del balance se logra con la información recabada en campo, por medio de mediciones directas y por cálculos basados en modelos darcianos de flujo (Darcy, 1856).

El cambio de almacenamiento es conocido mediante la configuración de evolución del nivel estático, dicho valor es afectado por el coeficiente de almacenamiento (S) o del rendimiento específico (S_y), que permite determinar el valor de pérdida o ganancia del agua subterránea en el sistema. La evolución de almacenamiento de agua subterránea es la consecuencia de los ingresos y egresos de agua que producen fenómenos naturales como la lluvia (recarga) y la evapotranspiración, y en forma artificial mediante la extracción de agua. De tal forma el valor de la recarga vertical es la incógnita que satisface una ecuación de balance. Esto cumple el principio de conservación de la masa o ecuación de continuidad, para un intervalo de tiempo determinado.

La ecuación para el balance de aguas subterráneas es:

$$\sum_{i=1}^n E_S - \sum_{i=1}^n S_S = \pm(A_A \cdot \Delta h \cdot S) \quad (\text{Ecuación 1.6})$$

Donde:

E_S = entradas totales ($m^3/año$).

S_S = salidas totales ($m^3/año$).

A_A = área acuífera (m^2).

Δh = cambio en la carga ($m/año$).

S = coeficiente de almacenamiento (adim.).

Sustituyendo algunos de los parámetros comunes en el sistema acuífero en la ecuación anterior, se deduce que:

$$E_S + R_V - (S_S + B + ET + S_M + F_B) = \Delta V \quad (\text{Ecuación 1.7})$$

Donde:

E_S = entradas por flujo subterráneo horizontal ($m^3/año$).

R_V = recarga vertical ($m^3/año$).

S_S = salidas por flujo subterráneo horizontal ($m^3/año$).

B = bombeo ($m^3/año$).

ET = evapotranspiración desde superficies freáticas someras ($m^3/año$).

S_M = salidas a manantiales ($m^3/año$).

F_B = flujo base a descargas de ríos y arroyos ($m^3/año$).

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

La recarga vertical está compuesta por infiltración de agua de lluvia I_P ($m^3/año$), retornos por riego R_R ($m^3/año$), infiltración de escorrentía superficial I_E ($m^3/año$) y en ocasiones recarga artificial R_A ($m^3/año$). Sustituyendo estos valores en nuestra ecuación general de balance, se tiene:

$$E_S + I_P + R_R + I_E + R_A - (S_S + B + E_T + S_M + F_B) = \Delta V \quad (\text{Ecuación 1.8})$$

Debido a los órdenes de magnitud de las variables consideradas, cualquier error en la estimación de la extracción, entradas subterráneas o la pérdida en el almacenamiento, repercutiría directamente en el valor calculado de recarga.

Los aspectos que se deben de tener para llevar a cabo el balance de aguas subterráneas son:

- Periodo y área de balance.
- Planteamiento de la ecuación de balance que represente el sistema acuífero.
- Términos del balance.
- Limitaciones.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo del balance de aguas subterráneas es determinar la variación o cambio de volumen de agua almacenada en un acuífero en un tiempo determinado dependiendo de las características involucradas en el sistema, por lo tanto si el acuífero ganó volumen el balance será positivo, por el contrario si el acuífero pierde volumen será un balance negativo.

La elección del método para estimar la recarga dependerá de las condiciones locales y los objetivos a evaluar. Por ejemplo, los estudios de los recursos hídricos requieren estimaciones de la recarga a grandes escalas espaciales y temporales. Un estudio de la vulnerabilidad del acuífero requiere información más detallada, tanto espacial como temporal.

Cada método tendrá un nivel de incertidumbre, a menudo agravada por la falta de conocimiento sobre el acuífero. Una alternativa para manejar esta incertidumbre es usar varios métodos para generar diferentes estimaciones de la recarga.

La recarga de agua subterránea es un factor crítico en el balance de aguas subterráneas. Los cambios en la cantidad del valor de la recarga de los acuíferos influye tanto en la disponibilidad como en la calidad del agua. La determinación de la recarga de agua subterránea es importante para llevar a cabo la gestión del acuífero y así poder definir la cantidad de agua subterránea que se podrá extraer sin repercutir en el sistema.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los métodos antes mencionados para calcular la recarga de agua subterránea:

Método	Escala Espacial	Escala Temporal	Costo	Facilidad de Uso
Fluctuación del Nivel Freático	Local	Eventos individuales a periodos con registro hidrográfico	Bajo	Bajo
Trazadores (Isotopos)	Local a regional	Variable	Bajo a Alto	Bajo a Medio
Modelos Numéricos	Cuenca	Estacional	Alto	Alto
Balance de Aguas Subterráneas	Cuenca	Años a cientos de años	Bajo	Bajo

Tabla 1.1 Métodos para calcular la recarga de agua subterránea. Modificado de Baker (2007).

I.1.2 Perspectivas de manejo desde el punto de vista de la Comisión Nacional del Agua

Actualmente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) actualiza la información geohidrológica de los acuíferos del país. Para llevar a cabo esta actualización es necesario realizar estudios hidrogeológicos que incluyan el censo de aprovechamientos, la descripción del entorno geológico, la medición y evolución de la piezometría, así como los volúmenes de recarga y descarga del acuífero y su explotación.

La Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (CONAGUA, 2002), tiene como objetivo establecer el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales subterráneas y superficiales para su explotación, uso o aprovechamiento.

Con base en los estudios que ha realizado la CONAGUA, se tiene registro de que en diversas regiones, los volúmenes de agua concesionados superan los escurrimientos y la recarga de los acuíferos para satisfacer las necesidades del hombre ya sea para uso doméstico, agropecuario e industrial, lo que genera la escasez del recurso hídrico.

La NOM-011-CONAGUA-2000 especifica que hay tres tipos de disponibilidad media anual:

1. Disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica.
2. Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.
3. Disponibilidad media anual de aguas nacionales.

La NOM-011-CONAGUA-2000 establece que la disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica se estima mediante la siguiente expresión:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS \quad (\text{Ecuación 1.9})$$

Donde:

DAS = disponibilidad media anual de agua subterránea (Mm³/año).

Rt = recarga total media anual (Mm³/año).

DNCOM = descarga natural comprometida subterránea (Mm³/año).

$VCAS$ = volumen de agua subterránea concesionado en el REPDA ($Mm^3/año$).

La recarga total media anual corresponde con la suma de las entradas al sistema acuífero.

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos como agua superficial, alimentados por una unidad hidrogeológica más las descargas que se deben conservar para: no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad a la unidad hidrogeológica considerada.

El volumen concesionado de agua subterránea es la suma de los volúmenes anuales de agua, asignados y concesionados por la CONAGUA mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) para la explotación, uso o aprovechamiento de agua en una unidad hidrogeológica.

Sin embargo, el REPDA tiene fuertes limitaciones ya que la base de datos que alberga no está actualizada (constantemente se efectúan trámites para la concesión de nuevos aprovechamientos y hay títulos en proceso de ser registrados), además los títulos presentan imprecisión en cuanto a la ubicación de los aprovechamientos, es decir, hay aprovechamientos en los acuíferos que no corresponden a éste y viceversa. Los títulos que se encuentran inscritos en los acuíferos reportan volúmenes concesionados por debajo de lo que realmente se extrae, lo que trae como consecuencia que la aplicación de esta norma reporte un volumen de disponibilidad erróneo y por ende que se aprueben nuevos aprovechamientos que generaran una sobreexplotación del acuífero.

Por lo tanto, para determinar realmente la disponibilidad de agua subterránea del sistema acuífero se deben de considerar las extracciones que se determinen durante los estudios hidrogeológicos, lo que determinará la capacidad del acuífero para que se otorguen nuevas concesiones.

La presente tesis denominada "Balance de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de Huimilpan, Estado de Querétaro", se basa en el estudio de dicho acuífero localizado al sur del Valle de Querétaro, el cual alberga un acuífero emplazado en rocas volcánicas fracturadas y en medios granulares interestratificados e interdigitados entre sí.

El acuífero Valle de Huimilpan presenta un comportamiento de libre a semiconfinado debido a la presencia de materiales finos (materiales limoarenosos) dentro de su extensión. El nivel de saturación es en promedio de 80 m de profundidad, dentro de un medio heterogéneo y anisótropo.

El sistema de flujo detectado es intermedio y tiene una dirección preferencial de sur a norte. De la información previa disponible se determinó que dentro del balance subterráneo, existen volúmenes de descarga subterránea de este acuífero, de entre 8 y 10 Mm³/año (periodo 1989-1990).

El estado del acuífero en cuanto a términos de balance de agua subterránea, indica un desequilibrio debido a que desde hace por lo menos dos décadas, la extracción por pozos ha superado al suministro natural que alimenta al acuífero, motivo por el cual se han registrado evoluciones negativas de aproximadamente 0.5 m/año. Si esta tendencia no se frena o se revierte, el incremento de los abatimientos representará problemas de abastecimiento incluso para la capacidad instalada.

Es importante destacar que las unidades litológicas para efectos de exploración hidrogeológica son los derrames volcánicos basáltico andesíticos fracturados y los depósitos de tobas limoarenosas teniendo como premisa, como se expuso anteriormente, que los niveles de saturación son en realidad profundos.

La toma de decisiones oportunas, viables y que traten de mantener el equilibrio hidrológico es una prioridad ante el inminente deterioro de los acuíferos en el país por su alto grado de explotación.

I.2 Objetivos

I.2.1 General

- Estimar la recarga, entradas y salidas de agua subterránea del sistema acuífero Valle de Huimilpan, por medio de un balance de aguas subterráneas.

I.2.2 Particulares

- Actualizar el censo de aprovechamientos subterráneos y verificación geológica del acuífero Valle de Huimilpan.
- Integrar la información geológica y geohidrológica para el enriquecimiento del modelo conceptual del acuífero.

- Estimar los parámetros hidráulicos mediante las pruebas de bombeo realizadas.

I.3 Justificación

Anualmente, México recibe aproximadamente 1,489 mil millones de metros cúbicos de agua provenientes de precipitación, de las cuales el 73.2% se evapotranspira, el 22.1% escurre hacia ríos y arroyos y el 4.7% se infiltra en el subsuelo naturalmente para recargar los acuíferos (CONAGUA, 2010). Teniendo en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con países vecinos y la recarga incidental, el país anualmente cuenta con 459 mil millones de metros cúbicos disponibles de agua dulce.

El aumento de la demanda del recurso hídrico ha favorecido que se lleve a cabo la evaluación del agua subterránea en las últimas décadas. La importancia de llevar a cabo el estudio del agua subterránea radica en que el 70% del volumen que se suministra a la población, el 33% se destina a la agricultura y el 62% a la industria.

El estado de Querétaro se sitúa a pocos kilómetros del parteaguas continental de las cuencas de los Ríos Pánuco y Lerma-Chapala, lo que no le permite tener una disponibilidad significativa de agua superficial más que la que se obtiene por medio del Río Querétaro y sus afluentes.

Debido a que en el pasado el acuífero del Valle de Querétaro proporcionaba el suministro de agua a la zona metropolitana de Querétaro, éste actualmente sufre una sobreexplotación que comenzó en la década de los años 70. Sin embargo, hoy en día el acuífero Valle de Huimilpan incorpora una fuerte cantidad de agua al acuífero del Valle de Querétaro, además de proveerla a los poblados de Huimilpan, Corregidora y Pedro Escobedo.

La mayor explotación sobre el acuífero Valle de Huimilpan se debe a la agricultura que se desempeña en la zona, siendo el 74% destinada a este sector, 14% al uso público urbano, 6% con fines pecuarios y el 1% para usos múltiples, el 5% restante es para pozos que no fue posible identificar su uso.

Por lo tanto, la presente tesis se enfoca en el estudio hidrogeológico que permitirá conocer el estado actual del acuífero, usando como herramienta el balance de aguas subterráneas para estimar el grado de explotación del acuífero.

I.4 Localización y vías de acceso

La zona de estudio se ubica en la porción suroccidental del estado de Querétaro, al sur de la Ciudad de Querétaro (Figura 1.1).

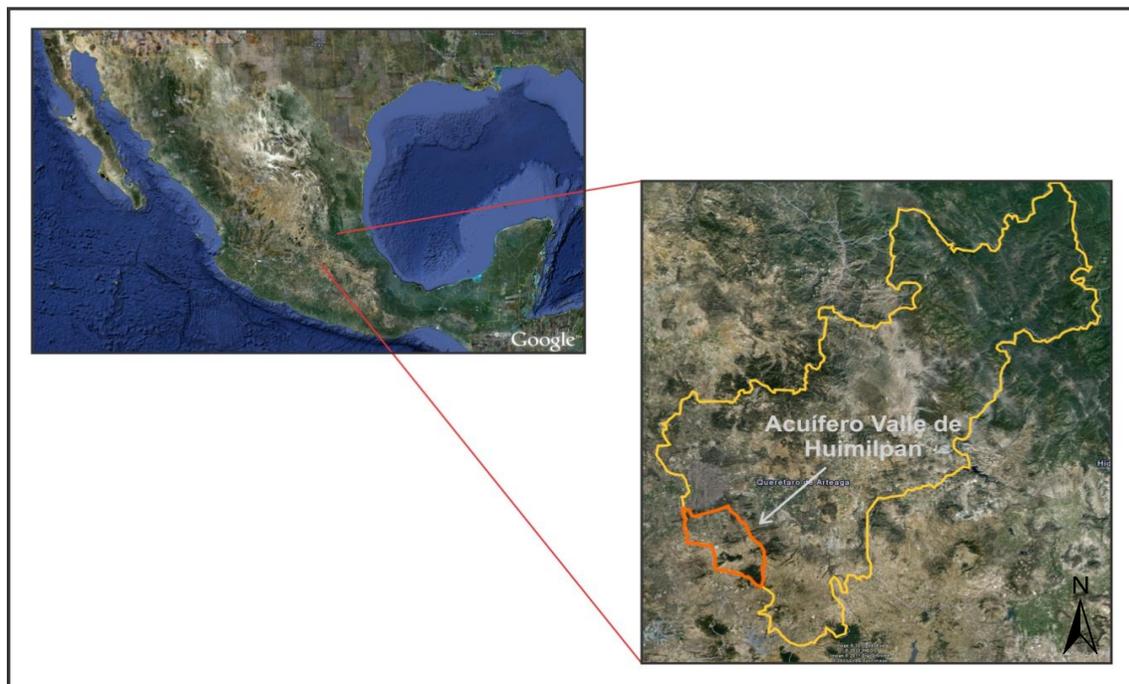


Figura 1.1 Localización de la zona de estudio (Google Earth, 2011).

Los accesos principales se realizan por las carreteras estatales: Villa Corregidora-Huimilpan, Villa Corregidora-Presa de Bravo y de la Ciudad de Querétaro-Lagunillas-Huimilpan (Figura 1.2).

En segundo término se localizan una serie de caminos empedrados y de terracería, los cuales se encuentran en general en buenas condiciones.

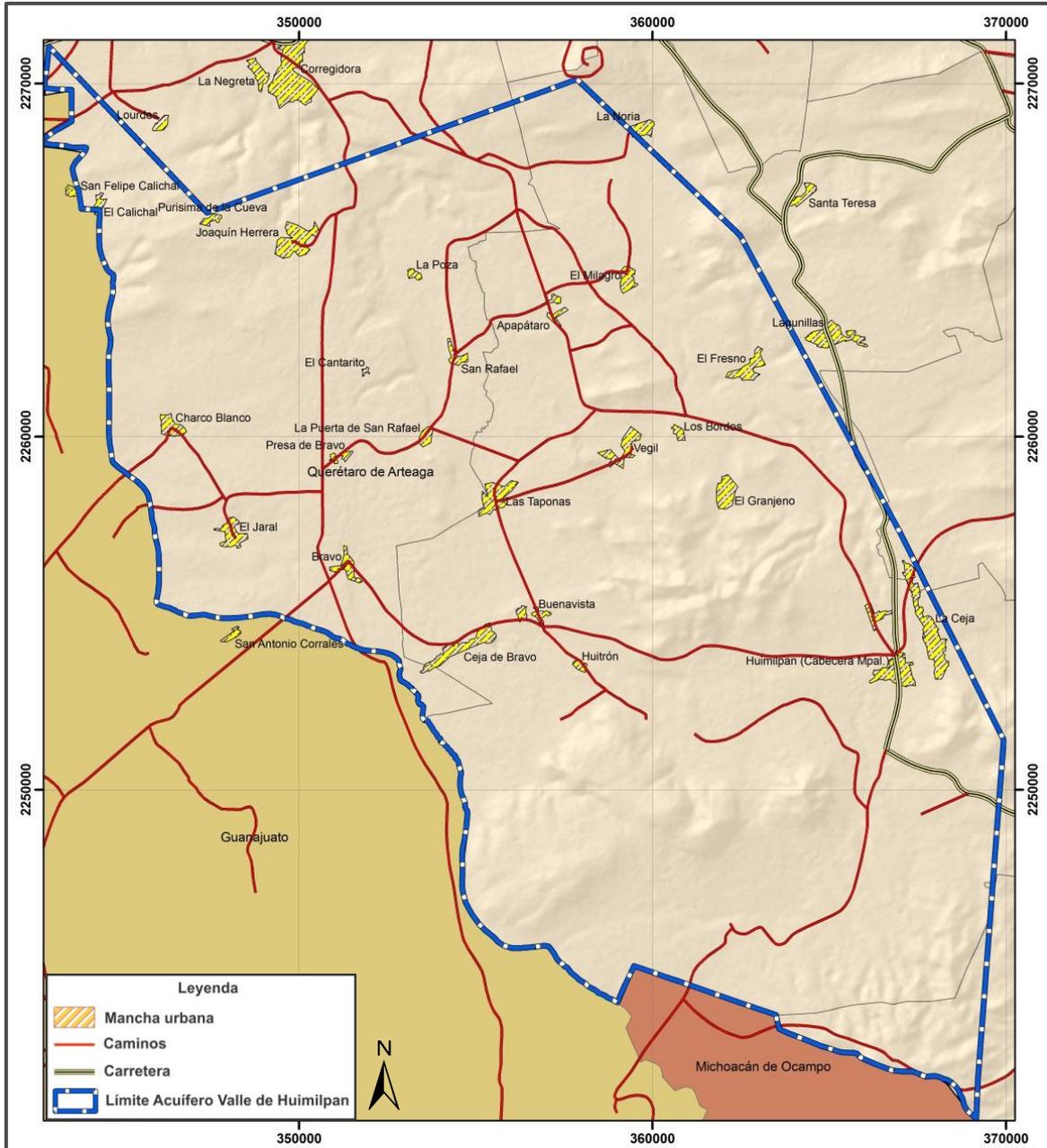


Figura 1.2 Principales vías de acceso al acuífero Valle de Huimilpan.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Capítulo 2

Metodología

- II.1 Recopilación y análisis de la información
- II.2 Trabajo de campo
- II.3 Pruebas de bombeo
- II.4 Modelo piezométrico 2010

II.1 Recopilación y análisis de la información

Las información que se obtuvo y se analizó consistió principalmente en artículos científicos, informes técnicos previamente realizados sobre la zona de estudio, mapas y material emitido por organismos de gobierno.

Para la recopilación de la información existente se siguió la siguiente metodología:

1. Se identificó la ubicación geográfica del acuífero en cartografía de INEGI escala 1:50,000 y en cartografía del Servicio Geológico Mexicano escala 1:250,000 para llevar a cabo la recopilación de información de la zona de interés y sus alrededores, las cartas consultadas son las siguientes:

- Apaseo El Alto, F14C75.
- La Estancia, F14C76.
- Querétaro, F14C65.
- Querétaro, F14-1

2. Se realizaron visitas a dependencias gubernamentales en donde se consultó información, éstas se enlistan a continuación:

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), Querétaro.
- CEA (Comisión Estatal de Aguas), Querétaro.
- CEGEO (Centro de Geociencias), UNAM, Campus Juriquilla.
- Instituto de Geología, UNAM.
- COTAS (Comité Técnico de Aguas Subterráneas), San Juan del Río.
- Gerencia de Aguas Subterráneas de la CONAGUA.

3. Se obtuvo información científica de la zona de estudio mediante la navegación en páginas web de sitios de índole geológico tales como:

- <http://www.ceaqueretaro.gob.mx/>
- <http://www.cna.gob.mx/>
- <http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/>
- <http://www.coremisgm.gob.mx/>
- <http://www.geologia.unam.mx/igl/>

4. De la información recopilada, se obtuvieron informes, reportes, planos, cartas, etc., que se revisaron de manera detallada para poder tener un panorama amplio de lo que se ha hecho a la fecha en la zona de estudio y poder entender previamente la situación actual del acuífero.

5. Una vez analizada la información, se realizaron resúmenes apoyados de figuras y tablas para tener de manera sintetizada una idea general del estado actual del acuífero.

A continuación se presenta la información más relevante recopilada de cada estudio:

Guysa, Geofísica de Exploraciones S.A. de C.V., Evaluación geohidrológica de los valles El Milagro y Lagunillas ubicados en los municipios de Villa Corregidora y Huimilpan, 1994, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

Los objetivos de este estudio fueron establecer los elementos y parámetros técnicos que permitan conocer el potencial hidráulico de las zonas; cuantificar el volumen adicional al que pueden ser sometidos los acuíferos y proporcionar los elementos técnicos que sirvan para comparar los resultados que se tienen en las zonas de Pedro Escobedo y San Juan del Río, y se tome la mejor opción económica que permite el máximo volumen de agua subterránea al menor costo.

Los Valles de El Milagro y Lagunillas se encuentran en la región Noreste del acuífero de Huimilpan. En El Milagro se tienen 49 aprovechamientos de los cuales 37 están activos, 10 inactivos y 2 en perforación para esta fecha. De estos el 73% es para el sector agrícola y el 27% para agua potable. En Lagunillas se tiene 7 pozos de los cuales 4 están en operación, 1 inactivo y 2 en perforación.

El nivel freático se encontró a 117 m de profundidad y el acuífero se encuentra en tobas vitrocristalinas.

De las conclusiones se puede resaltar:

- Debido a que el potencial del acuífero del Valle de Lagunillas es limitado, se recomienda que no se extraiga agua más que para el consumo local.
- A diferencia con el Valle de Lagunillas, el acuífero del Valle de El Milagro, es factible la creación de polos de desarrollo urbano ya que con una predicción de crecimiento a 10 años se tiene que el acuífero incluso podría exportar aguas al Valle de Querétaro. Esto se tendría que implementar con la infiltración vertical para favorecer los mecanismos de recarga del acuífero.

- Para ambos acuíferos se recomienda la reforestación en zonas altas para tener, mayor captación que favorezca la recarga del acuífero.
- Es indispensable mantener un programa de preservación de las corrientes superficiales importantes como el Río Huimilpan y la zona de la Falla de Querétaro.

Guysa, Geofísica de Exploraciones S.A. de C.V., Evaluación geohidrológica y modelación matemática en el Valle del Milagro. Municipio de Huimilpan, Estado de Querétaro, 1996, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

El objetivo de este estudio fue el de modelar matemáticamente y predecir el comportamiento del acuífero sometido a una extracción adicional de 150 l/s.

Para 1996 se contaba con 51 pozos activos con respecto a 1993 que se tenían 39 pozos activos, el 65% de los pozos del sector agrícola cuenta con riego tecnificado.

Se presentan cinco predicciones del comportamiento del acuífero a partir de un modelo de simulación de flujo hidráulico subterráneo para el año 2001. Como resultado de la simulación, se tiene que el abatimiento sería del orden de los 10 m a los 17.05 m, por lo que se reitera que esta no es una zona recomendable para aumentar el volumen de extracción, sino que a lo más mantenerlo en el volumen que se tenía para esa fecha.

Servicios en Aguas Subterráneas, Prospección hidrogeológica para la perforación de un pozo de abastecimiento de agua potable a la comunidad "Ceja de Bravo", 2003, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

El objetivo de este estudio fue el de determinar las condiciones geohidrológicas del área, así como definir la existencia de agua subterránea relacionadas a las unidades geológicas dominantes.

De acuerdo a la geofísica hay 4 unidades:

- U1: Boleo, con espesor de 4 m.
- U2: Toba arenosa, con espesor de 310 m.
- U3: Basalto, con espesor de 300 m.
- U4: Andesitas.

La unidad de mayor interés es la toba arenosa, por lo que se recomienda la perforación a 350 m de profundidad.

Dávalos-Álvarez O.G., Nieto-Samaniego A.F., Alaniz-Álvarez S.A., Gómez-González A.F., Las Fases de Deformación Cenozoica en la Región de Huimilpan, Querétaro y su relación con la sismicidad local, 2005, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22(2), p. 129-147.

La región de Huimilpan se ubica al sur del estado de Querétaro en la porción centro-septentrional de la Faja Volcánica Transmexicana. La estratigrafía y las fallas documentadas en el área de estudio permiten proponer cuatro fases de deformación extensional para el Cenozoico, las cuales se desarrollaron principalmente durante el Neógeno. Contiene mapa geológico de la zona de estudio compuesta por seis unidades de origen ígneo y una de origen sedimentario.

GEO-ALFA Geotecnia – Perforación Exploratoria, Estudio de Prospección Hidrogeológica en el Área de la Comunidad el Fresno, Municipio de Huimilpan, Estado de Querétaro, Agosto 2006, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

El objetivo de este estudio fue describir la geología de superficie y del subsuelo determinando las características litológicas, estructurales y estratigráficas para definir la factibilidad de existencia de agua en el subsuelo y elegir un sitio para perforar un pozo para poder extraer agua.

Se logró definir que el área estudiada se encuentra ubicada en rocas ígneas extrusivas. Se trata de tres unidades geoeléctricas a las que se les asocia la litología de tobas, piroclastos y derrames lávicos. El fracturamiento en las tobas arenosas y de las fallas están comunicadas por lo cual pueden formar una unidad geohidrológica en la que se infiltra y almacena agua de lluvia capaz de ser explotada mediante perforación.

II.2 Trabajo de campo

II.2.1 Verificación geológica y geohidrológica de campo

La verificación geológica de campo se llevó a cabo con el objetivo de determinar las relaciones espacio-temporales entre las distintas unidades geológicas, así como el carácter litológico de cada una de ellas.

Con la verificación geohidrológica se definieron tanto aquellas unidades con potencial hidrogeológico para formar parte del acuífero, como las unidades incapaces de almacenar y/o transmitir agua.

La verificación geológica y geohidrológica se programó después de analizar imágenes satelitales obtenidas de Google Earth, a partir de las cuales se trazaron rutas estratégicas que incluyeron al total de las unidades distribuidas en el área. Durante el recorrido de campo, se ubicaron afloramientos en donde fue posible estudiar las propiedades de interés de los distintos medios geológicos.

El equipo que se empleó durante la verificación geológica y geohidrológica es el siguiente:

- Brújula tipo Brunton.
- Formatos de campo.
- GPS, Garmin GPSMAP60CS.
- Cámara fotográfica.
- Lupa 10x y 20x.
- Martillo de Geólogo.

Los aspectos observados en campo permitieron definir principalmente el origen y clasificación de la roca, las características estructurales que se exponían en el afloramiento, el estado de conservación de la unidad y los procesos a los que ha sido expuesta, así como la compacidad y el contenido de materiales arcillosos.

Los puntos de verificación geológica se observan en el Plano 2 (Anexo G) y la información que sustentan la información obtenida en dichos puntos se presentan en el Anexo A.

II.2.2 Censo de aprovechamientos

La obtención de información a partir de visitas directas a un pozo o manantial de interés se obtiene por medio del censo de un aprovechamiento. La información se requiere para fines estadísticos que posteriormente serán interpretados con el fin de obtener resultados que reflejen el comportamiento de un acuífero, así como una base de datos que será útil para estudios posteriores que permitan conocer el funcionamiento de éste.

La importancia de realizar un censo de pozos es principalmente conocer las características del aprovechamiento y del acuífero en estudio. Además,

es posible tomar datos que ayuden a hacer interpretaciones cuantitativas de la geología presente en la zona, el uso del recurso hídrico en cada aprovechamiento, su capacidad de abastecimiento y las limitaciones que se pueden presentar en su explotación.

El equipo que se utilizó dentro del censo de aprovechamientos se enlista a continuación:

- GPS, GARMIN GPSMAP60CSx.
- Sonda eléctrica marca HGE, contiene un circuito que cierra al contacto con el agua, y emite un sonido que indica el momento en el que la sonda llega al acuífero. La sonda tiene marcas cada 5 metros.
- Cámara fotográfica, con el fin de tener un registro digital de imágenes que avalen la visita.
- Pintura vinílica.
- Vehículos, se utilizaron tres vehículos 4x4 para llegar a los predios de los aprovechamientos.

El procedimiento utilizado para el censo de pozos se describe a continuación:

1. Se obtuvo una base de datos con los pozos existentes por acuífero, las cuales proporcionan la ubicación aproximada del aprovechamiento.
2. Se accedió al lugar en vehículo, tomando carreteras federales, caminos locales y terracerías.
3. En algunas ocasiones se entrevistó a los lugareños para conocer la localización exacta del pozo o manantial. Algunas de las personas que facilitaron el acceso al aprovechamiento coincidieron en ser los operadores del mismo.
4. Se adquirió la posición geográfica con GPS, utilizando la antena receptora de alta precisión. La toma del dato requirió de 10 a 25 minutos para obtener la precisión requerida.
5. Se recabaron los datos requeridos en el formato de censo de pozos previamente elaborado.

Toda la información obtenida en los censos de aprovechamientos se registró en la base de datos que se presenta en el Anexo B.

II.2.3 Mediciones piezométricas

La piezometría de una serie de pozos se representa por medio de una configuración piezométrica, la cual da lugar a una representación geométrica de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Esta representación se realiza por medio de líneas de igual altura piezométrica llamadas líneas equipotenciales. Los mapas de líneas equipotenciales son plasmados en planos que dan a conocer la variación espacial de la carga hidráulica.

Las medidas piezométricas instantáneas se realizan mediante la denominada "sonda de nivel", las cuales se basan en la observación de la profundidad al agua mediante el cierre de un circuito eléctrico cuando un elemento detector establece contacto con el agua, las cuales constan de electrodo, cable eléctrico y detector.

Para llevar a cabo la toma de las mediciones piezométricas se buscó el orificio por el cual se introdujo la sonda eléctrica con el fin de medir la profundidad al nivel estático en el pozo.

La sonda se encendió y se procedió a bajar el cable por la tubería del pozo, tratando de que bajara solamente por gravedad. El cable se detuvo hasta que emitió un sonido que indicaba que el circuito que tiene se ha cerrado debido a la presencia de agua. La profundidad al nivel estático se registra a partir del brocal a la cual el circuito se cerró.

Cuando se trata de conocer la situación piezométrica de un acuífero, es esencial que las medidas a realizar en los distintos puntos de observación sean "simultáneas" entendiéndose por tales a aquéllas que se realizan dentro de un período de tiempo tan corto que no se identifiquen variaciones debidas a recargas o bombeos.

La observación de las variaciones de nivel piezométrico en un cierto punto proporciona información sobre la respuesta del acuífero a procesos de recarga o de extracción, así como sobre la tendencia en el almacenamiento.

II.2.4 Uso del agua subterránea

Una de las principales razones para llevar a cabo el censo de aprovechamientos de agua subterránea es conocer el uso del recurso hídrico y el caudal que se destina a cada uno. Se censaron un total de 79

aprovechamientos de los cuales 64 pozos de ubican en el Municipio de Huimilpan y 15 en el Municipio de Corregidora (Tabla 2.1, Figura 2.1).

Clave Aprovechamiento	x UTM	y UTM	Altitud (msnm)	Clave Aprovechamiento	x UTM	y UTM	Altitud (msnm)
P0004HU	355753.185	2267027.931	1915	P0046HU	358106.265	2265061.766	2013
P0005HU	355712.304	2266305.045	1961	P0047HU	358396.496	2264419.158	1982
P0006HU	354488.896	2264933.539	1988	P0048HU	355559.830	2265749.152	1942
P0007HU	355075.395	2265002.351	1951	P0049HU	355210.487	2265966.129	1929
P0008HU	356307.934	2265812.947	1969	P0050HU	355571.677	2265505.514	1948
P0009HU	359036.676	2265094.649	2005	P0051HU	354553.473	2263737.440	2011
P0010HU	359967.188	2265564.834	2017	P0052HU	354582.101	2262606.224	2021
P0011HU	359452.124	2266353.169	1993	P0053HU	355068.388	2261305.079	2021
P0012HU	359752.363	2266079.492	1992	P0054HU	353549.709	2261445.3166	2025
P0013HU	357762.967	2261832.259	2013	P0055HU	353775.121	2261775.485	2005
P0014HU	361976.160	2259657.632	2114	P0056HU	361641.777	2261964.639	2062
P0015HU	364504.354	2258722.367	2144	P0057HU	358806.443	2259740.672	2043
P0016HU	364923.535	2258506.893	2129	P0058HU	358132.583	2259851.404	2046
P0017HU	365414.767	2258606.340	2116	P0059HU	365038.760	2258341.789	2130
P0018HU	366974.829	2254349.092	2276	P0061HU	355394.724	2265960.877	1947
P0019HU	366631.882	2254690.596	2277	P0062HU	355179.802	2264602.950	1964
P0020HU	356464.585	2264593.949	1961	P0063HU	352596.024	2263446.100	1996
P0021HU	351942.133	2262363.203	2088	P0064HU	353166.865	2263776.359	1982
P0022HU	350927.458	2262659.840	2094	P0068HU	354900.607	2266529.635	1952
P0023HU	351365.875	2261884.812	2102	P0070HU	358917.342	2268324.305	1981
P0024HU	351133.861	2254794.665	2163	P0071HU	359788.092	2267676.924	1956
P0025HU	365282.438	2247274.273	2395	P0072HU	359786.323	2267673.248	1958
P0026HU	362927.705	2262077.893	2052	P0073HU	359050.034	2267764.185	1954
P0027HU	346527.697	2259713.499	2062	P0074HU	358933.588	2267346.343	1967
P0028HU	357932.700	2268854.606	2117	P0075HU	356370.869	2267919.377	1968
P0031HU	359040.764	2263904.624	1977	P0076HU	356719.031	2266461.381	1960
P0032HU	357296.031	2261515.126	2002	P0078HU	366847.352	2248446.504	2363
P0033HU	355839.922	2264329.844	1959	P0079HU	368233.743	2246555.933	2512
P0034HU	357327.275	2265673.405	1997	P0081HU	356897.976	2265894.704	1974
P0035HU	356845.616	2265040.923	1969	P0082HU	356188.260	2265433.891	1966
P0036HU	357369.460	2264202.002	-	P0083HU	358801.739	2244770.977	2481
P0037HU	357859.971	2264296.312	1993	P0084HU	365439.927	2258930.844	2138
P0038HU	357609.420	2264691.375	1985	P0085HU	354808.304	2267327.454	1960
P0039HU	356534.600	2263200.412	1980	P0086HU	361539.816	2262686.831	2040
P0040HU	357628.328	2262787.221	2003	P0087HU	364173.391	2258876.270	2137
P0041HU	359179.173	2262977.319	2019	P0088HU	359031.854	2260292.296	2033
P0042HU	359366.356	2263326.318	1989	P0089HU	353715.806	2263785.181	1973
P0043HU	356426.054	2265180.973	1954	P0090HU	355471.324	2269050.572	2021
P0044HU	355922.467	2266076.338	1961	P0091HU	353224.114	2268276.426	1995
P0045HU	358578.549	2265198.065	2016				

Tabla 2.1 Coordenadas de aprovechamientos censados en el trabajo de campo.

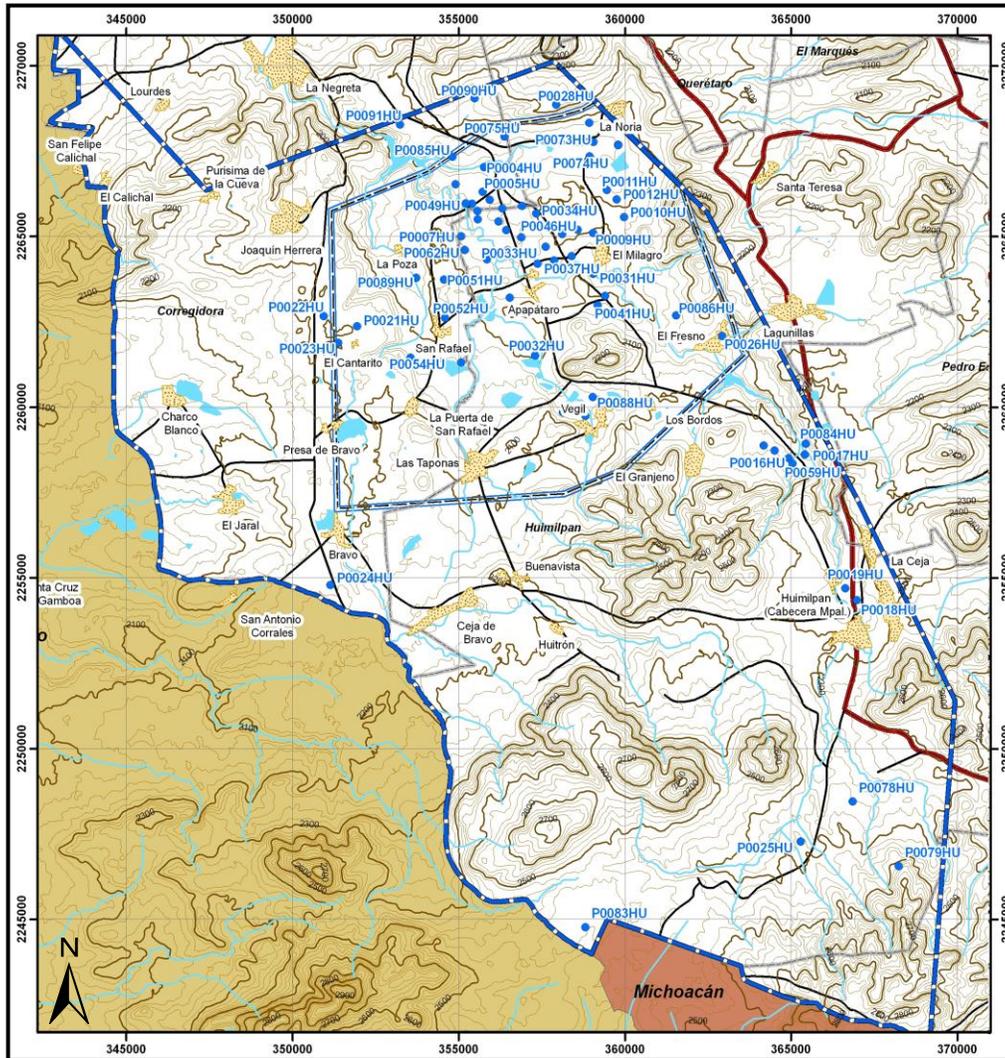


Figura 2.1 Localización de aprovechamientos censados.

II.3 Pruebas de bombeo

Las pruebas de bombeo son la herramienta principal con que se cuenta para el estudio del comportamiento de los pozos y la obtención de parámetros hidráulicos que representan el comportamiento del acuífero (Custodio y Llamas, 2001).

El principio de estas pruebas involucra el aplicar un estrés al sistema acuífero mediante la extracción de agua subterránea, por medio de pozos de bombeo, y midiendo la respuesta del acuífero al estrés aplicado monitoreando el descenso del nivel del agua en función del tiempo. Estas mediciones son incorporadas a una ecuación de flujo apropiada y correspondiente al sistema en estudio y se obtienen los parámetros hidráulicos del acuífero.

Por otro lado, la medición de los niveles del agua, después del cese de bombeo en el propio pozo de bombeo y/o en los pozos y piezómetros de observación, se llama prueba de recuperación.

Las pruebas de bombeo son llevadas a cabo con la finalidad de determinar, entre otras cosas:

- La cantidad de agua que puede extraerse y la eficiencia real del pozo.
- Las propiedades hidráulicas del acuífero tales como transmisividad (T), coeficiente de almacenamiento (S) y por lo tanto conductividad hidráulica (K).
- Presencia y situación de límites como barreras, fallas geológicas, líneas de recarga, etc.
- Datos para extrapolar razonablemente los descensos del pozo sometido a una larga explotación, permitiendo hacer una planeación a futuro del recurso hídrico.

Para la selección del sitio en el que se realizaron las pruebas de bombeo se tomaron en cuenta factores como la ubicación espacial de los pozos existentes, características constructivas, capacidad de algunos pozos de llevar a cabo pruebas de bombeo de larga duración (24 horas más 12 horas de la prueba de recuperación) y facilidad de acceso.

Adicionalmente, un factor decisivo en la selección del sitio adecuado consistió en la identificación, por medio del censo de pozos y el reconocimiento geológico del área de estudio, de las zonas de entrada y salida horizontal de agua subterránea del acuífero, buscando obtener los valores más representativos del sistema.

Las pruebas de bombeo se realizaron en los pozos P0026HU y P0006HU, los cuales presentan las siguientes características constructivas (Tabla 2.2):

	P0026HU	P0006HU
Diámetro de succión (cm)	7.62	7.62
Diámetro de descarga (cm)	7.62	7.62
Diámetro de ademe (cm)	25.4	25.4
Caudal medido (lps)	8.5	5.42
Tipo de motor	eléctrico	eléctrico
Tipo de bomba	sumergible	sumergible
Régimen de bombeo (hrs/día)	22	menos de 5 hrs

Tabla 2.2 Características de los pozos seleccionados para llevar a cabo las pruebas de bombeo.

El bombeo se realizó durante un periodo de 24 horas y 12 horas respectivamente y las mediciones al nivel dinámico se realizaron con una sonda de nivel marca Solinst.

Así mismo, los datos obtenidos fueron interpretados por el método Cooper-Jacob (Cooper y Jacob, 1946; Jacob, 1950). Aunque este método está diseñado para acuíferos confinados, tiene una gran aceptación para utilizarse en diferentes entornos hidrogeológicos, como en acuíferos libres.

Halford (2006) comparó el método de Cooper-Jacob con respecto a otros métodos de interpretación, basados en la simulación numérica de 628 ensayos en pozo único con transmisividades conocidas que oscilaron de 10 a 10,000 m²/d. Los ensayos fueron interpretados con el método de la línea recta de Cooper-Jacob considerando anisotropía vertical, penetración parcial y rendimiento específico. En esta investigación, los autores reportaron que las transmisividades interpretadas para acuíferos libres con el método de Cooper-Jacob, sobreestimaron los valores conocidos hasta en un 50%, sin embargo, los resultados interpretados con métodos específicos para acuíferos libres, como la solución de Moench (Barlow y Moench, 1999), mostraron en general la misma tendencia.

En este sentido, los autores concluyen que la interpretación de ensayos de bombeo en acuíferos libres y confinados aplicando el método de Cooper-Jacob, sigue siendo hasta hoy, la manera más razonable para estimar la transmisividad.

De acuerdo con el método de Cooper y Jacob (Cooper y Jacob, 1946; Jacob, 1950), se debe generar una recta de regresión lineal con los datos de campo que correspondan con la respuesta del acuífero. De esta recta se calcula su pendiente que corresponde con la caída del descenso en un ciclo logarítmico de la gráfica $((\Delta s)_{10})$ y el punto de corte con el eje del tiempo (t_0), de manera que puede estimarse la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S) del acuífero por medio de las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi(\Delta s)_{10}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

$$S = \frac{2.5Tt_0}{r^2} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

Q = caudal de bombeo constante [L³T⁻¹].

r = distancia del pozo de bombeo al pozo de observación o radio del pozo de bombeo [L].

La interpretación de las pruebas de bombeo y de recuperación, así como los resultados obtenidos, se muestran en el Anexo C.

II.4 Modelo piezométrico 2010

Para la realización del modelo piezométrico de un acuífero, el fundamento del método es interpolar valores entre puntos cercanos y trazar líneas que unan puntos de igual piezometría para así establecer líneas equipotenciales, en la que debe figurar el valor de cada una.

El sentido del flujo del agua es desde líneas de mayor altura piezométrica hacia líneas de menor altura piezométrica, en la dirección de la máxima pendiente, es decir, perpendicularmente a las mismas, siendo posible dibujar flechas que indican el sentido del flujo.

El desarrollo del modelo piezométrico del acuífero Valle de Huimilpan se realizó a partir de la tabla del censo de los pozos ubicados dentro del mismo. Los datos utilizados para el diseño de la piezometría de 2010 y la configuración de elevaciones del nivel estático (ENE) fueron la profundidad al nivel estático (PNE), la altura del brocal y las cotas referidas a los datos del censo (msnm). Estos datos se obtuvieron en el censo realizado en noviembre-diciembre de 2010 y se muestran en el Anexo B.

La metodología utilizada para realizar la configuración de la piezometría fue la siguiente:

1. Se analizaron y compararon las cotas referidas de INEGI con ayuda del programa ESRI ArcGis 9.3, para determinar cuáles presentaban una correspondencia mayor con los valores obtenidos en el estudio de GUYSA (1994). Se concluyó que los valores de INEGI presentan la menor varianza (± 2.5 m).
2. Con los datos de PNE y las cotas referidas a cada uno de los pozos obtenidos durante el censo, se hizo una comparación con las cotas de INEGI con la finalidad de realizar una tabla con los siguientes atributos:
 - Clave de aprovechamiento (P####HU).
 - Altura del brocal.
 - Cotas de los pozos (msnm).
 - Coordenadas UTM.

- Profundidad al nivel estático (PNE).
 - Elevación del nivel estático (ENE) obtenido de la suma y diferencia de las cotas, altura del brocal y profundidad al nivel estático.
3. Se analizaron, corrigieron y reafirmaron datos de los pozos, tales como claves, ENE, PNE, altura de brocales, cotas obtenidas en el censo y cotas digitales obtenidas de INEGI.
 4. Se creó una base de datos con la información necesaria para la construcción de un modelo piezométrico (clave del aprovechamiento, altura del brocal, PNE, cota digital INEGI, coordenadas geográficas y UTM en Datum WGS84/ITRF92).
 5. Se tomaron los valores de PNE obtenidos con el censo. Los pozos que no contaran con PNE se descartaban y no se consideraron para realizar el modelo piezométrico.
 6. En la base de datos se realizó la suma entre la cota digital INEGI y la altura del brocal, a este valor obtenido se le restó la PNE de los pozos restantes para obtener la elevación del nivel estático (ENE).
 7. Para procesar estos datos y obtener la configuración de la red de flujo se utilizó el programa Golden Software Surfer 8. En esta interfaz se crea una tabla dentro del mismo software la cual contiene los datos ya depurados a partir del censo de pozos, se analizan los pozos y se toma la decisión de discriminar y elegir los que efectivamente logran configurar una piezometría apegada al modelo conceptual del acuífero. Basado en la información de la ENE y empleando el método geoestadístico Kriging se logra definir la dirección de flujo de agua subterránea y los contornos de igual carga hidráulica.
 8. Se detalló la red de flujo con ayuda de ArcGis 9.3 modificando las isolíneas con base en los criterios estructurales, geomorfológicos y geohidrológicos apegados al modelo conceptual y a las observaciones de campo.

La configuración del modelo piezométrico 2010 se observa en el Plano No. 5 (Anexo G).



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Capítulo 3

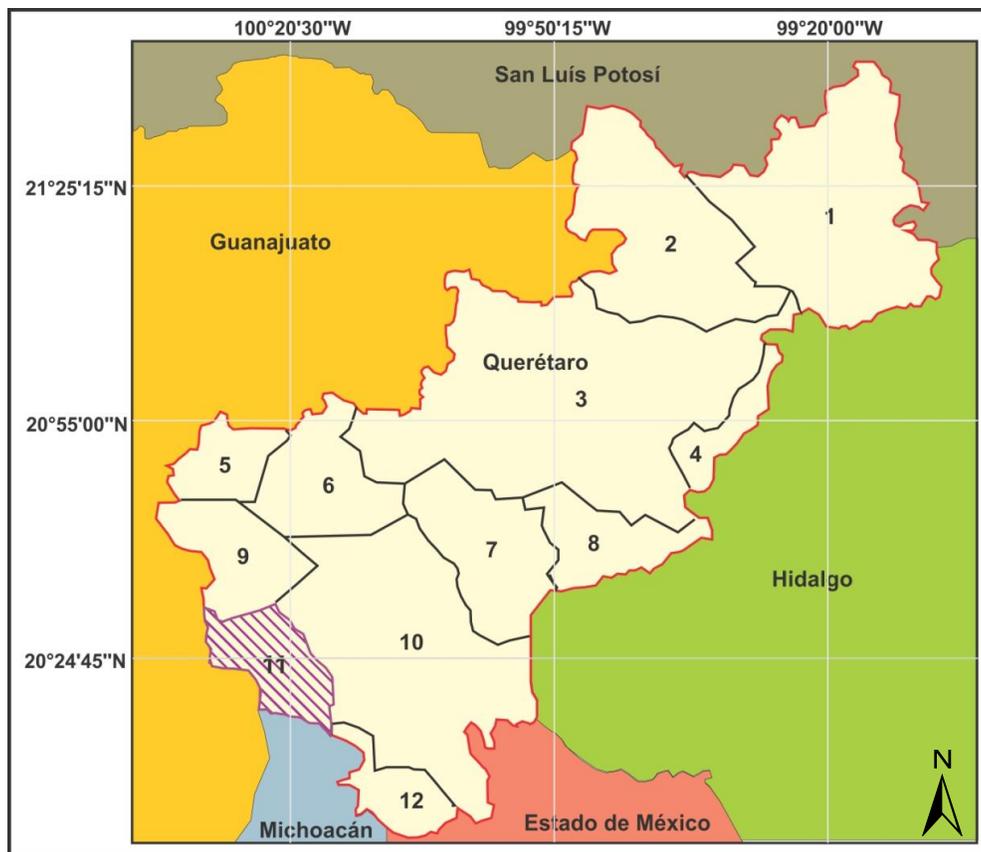
Entorno Geológico e Hidroológico del Acuífero

- III.1 Localización geográfica
- III.2 Geología
- III.3 Unidades hidrogeológicas
- III.4 Hidrología superficial
- III.5 Hidrología subterránea

III.1 Localización geográfica

El acuífero Valle de Huimilpan cuenta con una extensión de 435 km² y se ubica en la porción sur occidental del estado de Querétaro abarcando parte de los municipios de Corregidora, Huimilpan, Pedro Escobedo y Amealco de Bonfil (Figura 3.1)

Limita al norte con el Acuífero Valle de Querétaro, al este con el acuífero Valle de San Juan del Río, al sur con el acuífero Valle de Amealco y el acuífero Maravatio - Contepec - Epitacio Huerta del estado de Michoacán y al oeste con los acuíferos Valle de la Cueva y Valle de Celaya del estado de Guanajuato.



Acuíferos

- | | | | |
|---|--------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | Huasteca Potosina | 7 | Valle de Tequisquiapan |
| 2 | Tampaón – Zona de Sierra | 8 | Valle de Cadereyta |
| 3 | Tolimán | 9 | Valle de Querétaro |
| 4 | Moctezuma | 10 | Valle de San Juan del Río |
| 5 | Valle de Buenavista | 11 | Valle de Huimilpan |
| 6 | Valle de Amazcala | 12 | Valle de Amealco |

Figura 3.1 Ubicación del acuífero Valle de Huimilpan.

En la tabla 3.1 se presentan los vértices que definen la poligonal del límite administrativo (DOF, 2009):

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte			Observaciones
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
1	100	27	45.0	20	29	20.0	
2	100	21	45.0	20	31	27.0	
3	100	19	6.4	20	29	3.9	
4	100	16	28.2	20	24	31.5	
5	100	14	45.1	20	21	20.7	
6	100	15	8.0	20	16	7.2	
7	100	15	9.2	20	15	31.8	Del 7 al 8 por el límite estatal
8	100	21	0.0	20	17	16.1	Del 8 al 9 por el límite estatal
9	100	29	21.1	20	26	40.0	Del 9 al 10 por el límite estatal
10	100	30	23.0	20	31	52.4	
1	100	27	45.0	20	29	20.0	

Tabla 3.1 Límite administrativo del acuífero Valle de Huimilpan.

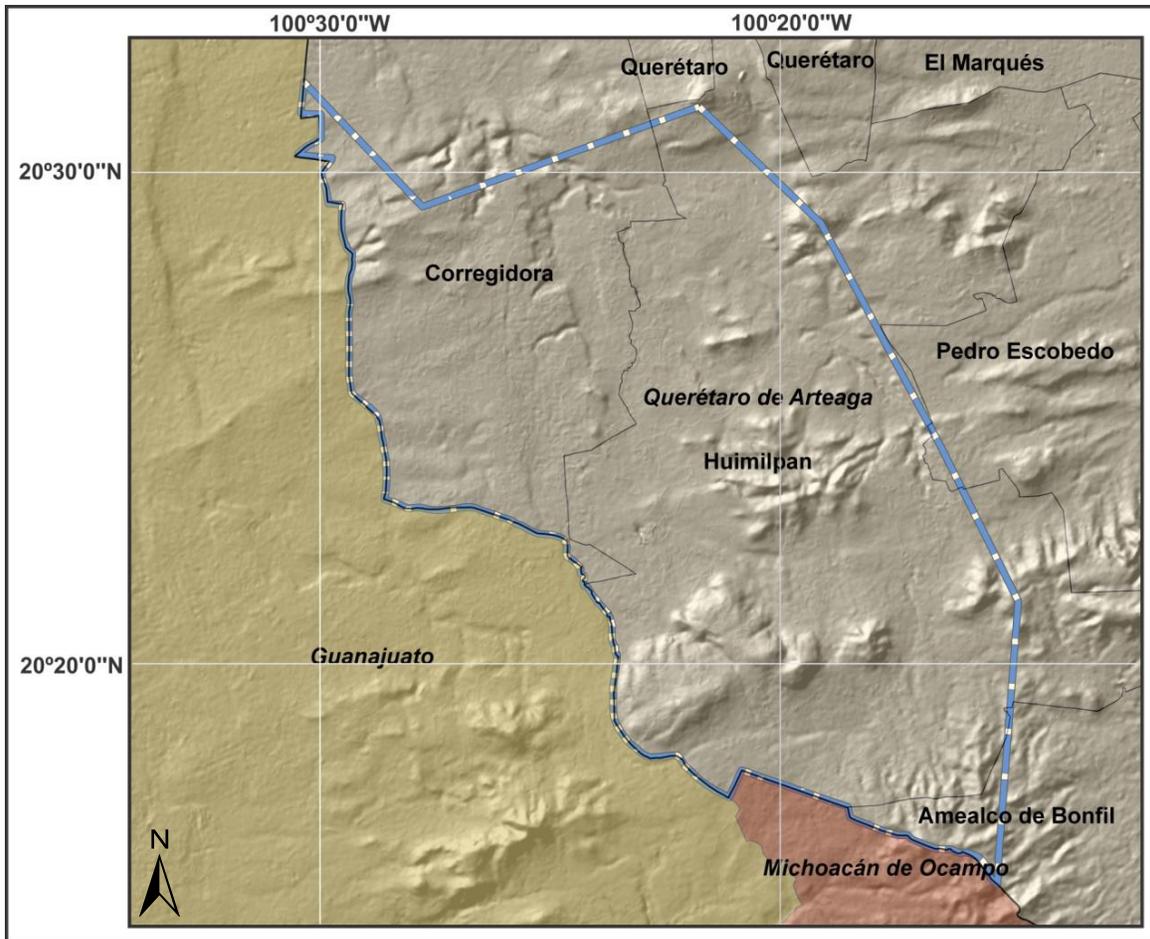


Figura 3.2 Límite administrativo del acuífero Valle de Huimilpan.

III.2 Geología

III.2.1 Fisiografía

De acuerdo con la cartografía fisiográfica del INEGI, el estado de Querétaro presenta porciones de tres Provincias Fisiográficas de México:

- Sierra Madre Oriental: Conformada por sierras plegadas de rocas sedimentarias marinas. Su relieve es abrupto y se encuentran en ella multitud de grutas y dolinas provocadas por el desplome de techos de cavernas.
- Mesa del Centro: En el Estado de Querétaro está representada por la Sierra de El Zamorano, siendo la montaña más alta de Querétaro. Esta provincia se originó por erupciones volcánicas en el mismo periodo que se formó la Sierra Madre Occidental.
- Faja Volcánica Transmexicana (FVTM): Se presentan numerosos volcanes y mesetas de rocas volcánicas relativamente recientes, así como llanuras y fosas limitadas por fallas rellenas con depósitos lacustres y aluviales, también es conocida como Eje Neovolcánico.

El Valle de Huimilpan se localiza en la porción centro-este de la provincia Fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (Figura 3.3), la cual se caracteriza por una planicie elevada delimitada hacia la porción norte por elevaciones topográficas, mientras que hacia el sur se encuentra la subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro.

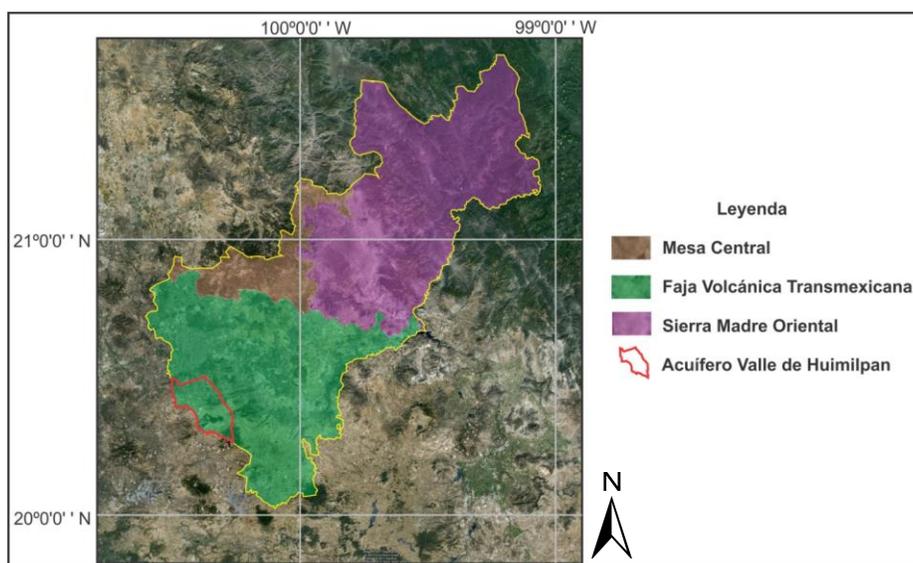


Figura 3.3 Ubicación Fisiográfica del acuífero Valle de Huimilpan.

III.2.2 Geomorfología

Geomorfológicamente en la zona de estudio se delimitan tres regiones principales dentro del Valle de Huimilpan y sus alrededores, los cuales se describen a continuación:

1. La Sierra de Huimilpan está conformada por estructuras con una elevación promedio de 2,600 msnm, con laderas de pendientes de moderadas a escarpadas, que en ocasiones forman lomeríos.
2. El Valle de Huimilpan con una elevación promedio de 1,950 msnm y una superficie de alrededor de 130 km².
3. Mesetas del centro y oriente producto de la acumulación de materiales piroclásticos, con una elevación ponderada de 2,090 msnm.

III.2.3 Marco tectónico

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es un arco volcánico que se desarrolla sobre la margen suroccidental de la Placa Norteamericana como resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos a lo largo de la Trincheras de Acapulco (Figura 3.4).

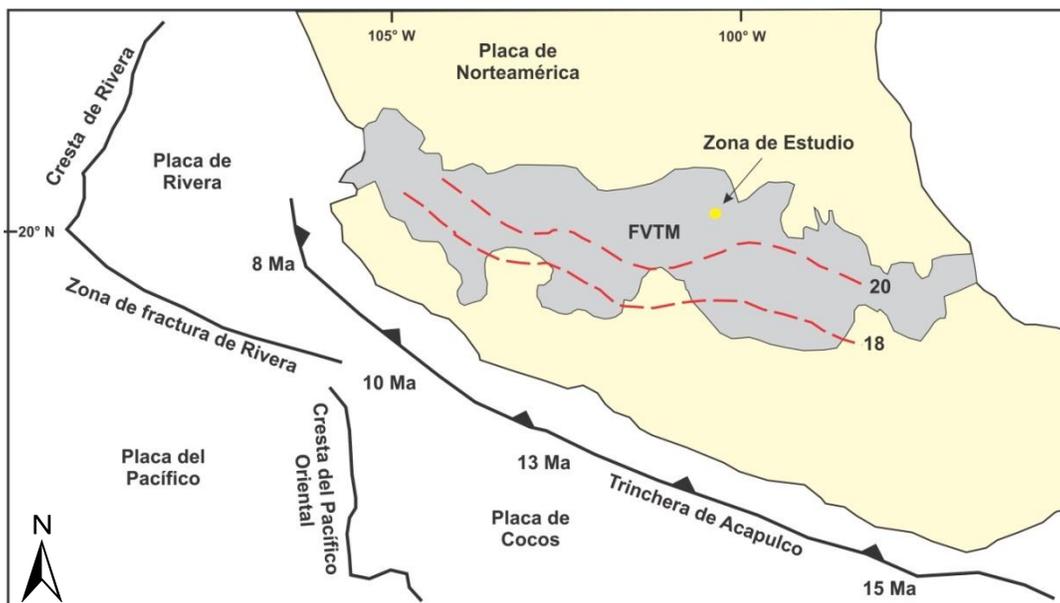


Figura 3.4 Marco tectónico de la FVTM. Las edades en la trinchera se refieren a la placa que entra en la zona de subducción. Las líneas rojas representan la posición de las isócronas de la placa subducida, cuyas edades se indican. Modificado de Ferrari (2000).

Una de las principales características de este arco volcánico es la variedad de estilos volcánicos y composición química a lo largo del arco. La FVTM se suele dividir en tres sectores: occidental, central y oriental.

En el sector occidental, limitado al este por el rift de Colima, el arco se sobrepone al límite meridional de la Sierra Madre Occidental (SMO). En la parte de la SMO, el volcanismo es bimodal, formado por estratovolcanes, complejos de domos tanto dacíticos como riolíticos y centros monogenéticos basálticos. Del lado este el volcanismo es monogenético y de composición basáltico-andesítica.

En el sector central, localizado entre el Rift de Colima y el sistema de fallas Taxco-Querétaro, se encuentra el campo volcánico Michoacán-Guanajuato. Este campo está formado por centros monogenéticos y pequeños volcanes escudo de composición basáltica a andesítica.

En el sector oriente, al cual pertenece el área de estudio, el volcanismo está emplazado en grandes estratovolcanes, calderas y domos de composición andesítica a riolítica que se encuentran alineados, mientras que los volcanes monogenéticos son de composición basáltica.

La FVTM no se encuentra a una distancia constante de la Trinchera de Acapulco. El sector occidental es paralelo a la trinchera, mientras que los sectores central y oriental se alejan de ella (Ferrari, 2000). La posición de la FVTM se debe a la geometría que tiene la zona de Benioff por debajo de la placa de Norteamérica en México, ya que las placas de Cocos y Rivera subducen con ángulos diferentes en la Trinchera de Acapulco, siendo de 45° el ángulo de la primera y de la segunda 20° al oriente y al occidente 30° (Dávalos-Álvarez *et. al.*, 2005). Debido a su posición tan particular, la FVTM es un rasgo representativo de la geología de México.

La zona del Valle de Huimilpan ha sido afectada por tres sistemas de fallas regionales (Figura 3.5):

- Taxco-San Miguel de Allende (TSMA), orientación preferente al NNW.
- Chapala-Tula (Ch-T), orientación preferente ENE.
- Fallas y Fosas Tectónicas NW (FFTNW), orientación preferente al NW.

Estas fallas tuvieron actividad durante el Cenozoico. En el sistema FFTNW las edades van desde el Oligoceno Tardío al Mioceno, para el sistema TSMA la actividad reportada es del Mioceno Medio al Reciente (Alaniz-Álvarez *et al.*, 2002) y para el sistema Ch-t la actividad se reporta desde el Mioceno-Plioceno al Reciente (Nieto-Samaniego, 1990).

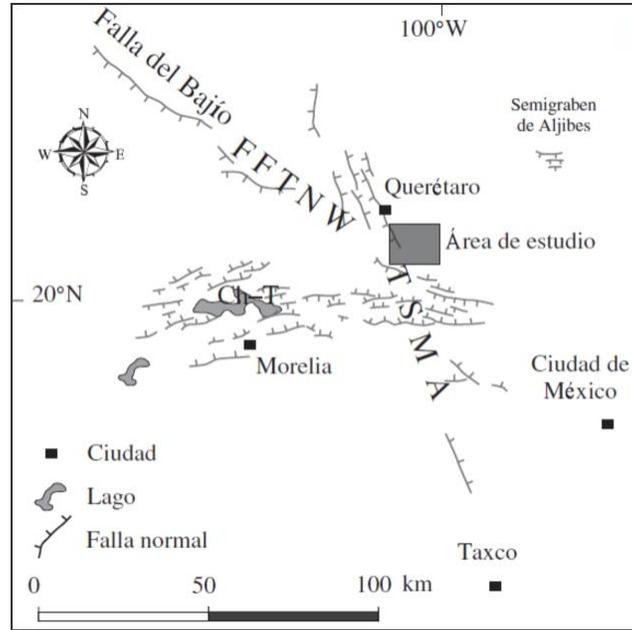


Figura 3.5 Sistema de fallas regionales de la zona de Huimilpan (Dávalos-Álvarez, 2005).

La zona de Huimilpan es claramente afectada por los tres sistemas de fallas antes mencionados. La deformación ocurrida durante el Neógeno es dominada por las fallas TSMA y Ch-T, mientras que el sistema FFTNW es un semigraben con morfología más vieja que los otros sistemas, sin embargo su actividad durante el Neógeno fue en un grado mucho menor.

En la región de Huimilpan se han documentado cuatro periodos de deformación (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2005):

1. La primera deformación afectó solamente a la riolita La Cuesta, provocando una zona de debilidad en donde se emplazaron lavas andesíticas. Esta deformación generó fallas que tienen la misma orientación que el sistema de fallas Ch-T. Por la relación que guarda con las rocas afectadas, la actividad fue posterior a la riolita La Cuesta y anterior a la andesita Vaquerías.
2. La segunda fase, ocurrida durante el Mioceno Tardío (Tortoniano), se asocia con el sistema TSMA. Este fallamiento generó la falla Lagunilla-Huimilpan y sobre su escarpe se emplazó la andesita Guadalupe.
3. La tercera deformación fue provocada por la reactivación del sistema Ch-T y afectó a la riolita La Cuesta y a la andesita Vaquerías.

4. La última fase se caracteriza por la reactivación del sistema TSMA y comenzó su actividad durante el Plioceno, ya que afecta a la ignimbrita Huimilpan. Esta fase se extiende hasta el Reciente ya que, en 1998 ocurrió un sismo en el poblado de Sanfandila que se asocia a una falla generada en la última fase de deformación (Zúñiga *et al.*, 2003).

III.2.4 Geología regional

La secuencia estratigráfica en la zona de estudio está compuesta por rocas volcánicas de edad Cenozoica de composiciones intermedias a félsicas y actualmente están cubiertas por depósitos recientes. La actividad volcánica principalmente ocurrió durante el Mioceno-Plioceno.

Como base para llevar a cabo el reconocimiento geológico se utilizaron los trabajos de Nelson y Sánchez-Rubio (1986), Verma (1991) Aguirre-Díaz, (1996) y Dávalos-Álvarez (2003), los cuales describen ampliamente la zona.

Las unidades estratigráficas reportadas por Dávalos-Álvarez (2003) para la zona del Valle de Huimilpan de la base a la cima son:

Unidad	Época Geológica	Edad	Simbología
Riolita La Cuesta	Oligoceno–Mioceno Medio	-	RiC
Andesita Vaquerías	Mioceno Medio a Tardío	-	AnV
Andesita Guadalupe	Mioceno Tardío	8.8±0.13 Ma	AnG
Riolita El Rincón	Plioceno Reciente	4.7±0.19 Ma	RiR
Toba Amealco	Plioceno Medio	4.68±0.10 Ma	TbA
Ignimbrita Huimilpan	Plioceno Tardío	3.43±0.16 Ma	IgH
Clásticos Continentales	Reciente	-	AI

Tabla 3.2 Unidades estratigráficas de la zona de estudio.

A continuación se presenta una breve descripción de las unidades antes mencionadas y algunas características que se observaron en la campaña de campo. En el Anexo A se presentan los formatos de verificación geológica.

Riolita La Cuesta (RiC)

Esta unidad está compuesta por una roca ígnea extrusiva fracturada de coloración gris con tonos rosados al fresco y color gris al intemperismo formada por feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo y ferromagnesianos y textura porfídica (Figura 3.6). La verificación de esta unidad fue cerca de la Sierra Vaquerías, donde Dávalos-Álvarez *et al.* (2005) reportan que aflora principalmente.

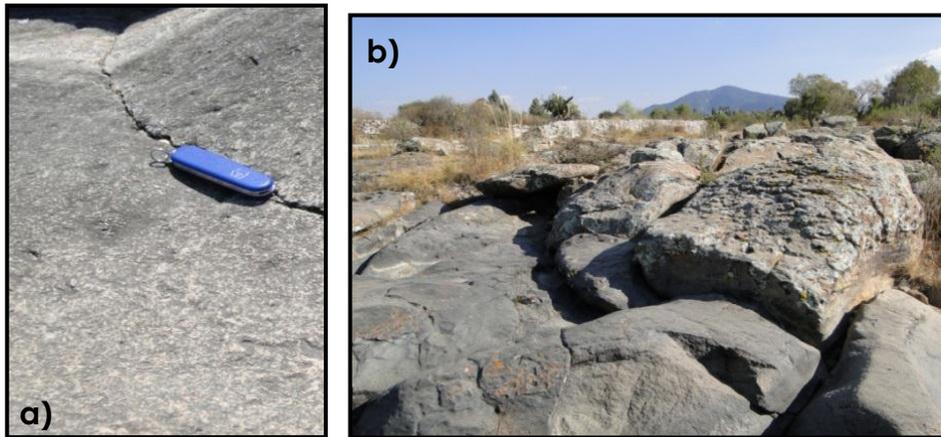


Figura 3.6 a) Color al fresco de la riolita La Cuesta. b) Afloramiento en la Sierra Vaquerías (PVG-10-HU).

La riolita La Cuesta subyace a la andesita Vaquerías y su espesor mínimo es de 150 a 200 m y la edad que reporta Alaniz-Álvarez *et al.* (2001) ubicaron su edad entre el Oligoceno y Mioceno Medio debido a que fuera del área de estudio es cubierta por derrames del basalto Querétaro.

Andesita Vaquerías (AnV)

Cerca del Poblado Puerta de San Rafael aflora una unidad de coloración gris oscuro con tonos rosados compuesta de fenocristales de plagioclasa subhedrales, escaso cuarzo y ferromagnesianos y textura porfídica (Figura 3.7).



Figura 3.7 Afloramiento de la andesita Vaquerías (PG-08-HU).

Esta unidad aflora al NW de la Sierra de Vaquerías y se presenta como un derrame afectado por fracturamiento regional. Esta unidad subyace a la andesita Guadalupe y sobreyace a la riolita La Cuesta. Dávalos-Álvarez *et al.* (2005) reportan una edad del Mioceno Medio a Tardío para esta unidad, con espesores de 200 a 250 m.

Andesita Guadalupe (AnG)

Esta unidad no fue verificada en campo y su ubicación en el Plano 2 fue con base en cartografía del Servicio Geológico Mexicano y el estudio realizado por Dávalos-Álvarez *et al.* (2005).

La andesita Guadalupe forma cuatro cuerpos volcánicos, tres se emplazan a lo largo de la traza de la falla Lagunillas-Huimilpan y un cuarto cuerpo en las cercanías del poblado de Santa Isabel.

Las rocas de esta unidad están compuestas por abundantes fenocristales de hornblenda y plagioclasa, algunos de feldespato potásico y escaso cuarzo y presentan coloraciones pardas rojizas.

La unidad sobreyace a la andesita Vaquerías y subyace a la toba Amealco, su espesor mínimo es de 50 m y tiene una edad de 4.68 ± 0.10 Ma, siendo su origen en el Mioceno Tardío (Aguirre-Díaz, 1996).

Riolita El Rincón (RiR)

Las rocas de la unidad denominada riolita El Rincón (Aguirre-Díaz, 1996) presentan coloración gris oscuro al intemperismo y al fresco gris rosado y está formada por ferromagnesianos y feldespatos potásicos. Cuenta con texturas que varían de porfídica a afanítica, presenta fracturamiento y alto grado de compactación. En ocasiones muestra oxidación.

Dávalos-Álvarez *et al.* (2005) reportan que esta unidad se encuentra aflorando en seis domos con dimensiones que varían de uno a nueve kilómetros. En el área de estudio afloran en la Sierra El Rincón, Cerro Bravo y Cerro Capula, ubicados al sur suroeste del acuífero Valle de Huimilpan (Figura 3.8). Los espesores para esta unidad dependen de la estructura del domo y varían entre los 50 y 300 m.



Figura 3.8 Afloramiento de la riolita El Rincón en la Sierra El Rincón (PVG-03-HU).

Toba Amealco (TbA)

Verma *et al.* (1991) describieron esta unidad como una secuencia piroclástica formada por ceniza y que presenta juntas columnares, llamándola ignimbrita Amealco.

En campo se observaron diferentes características para esta unidad:

- Cerca del poblado Las Taponas, la roca se observa de color pardo a café claro con tonos blancos, compuesta de líticos en una matriz limosa y presenta textura piroclástica. En algunas zonas se observan depósitos de ceniza de coloración grisácea (Figura 3.9).



Figura 3.9 Afloramiento de toba Lítica (PVG-19-HU).

- En el PVG-07-HU, cerca del poblado Bravo se observa una secuencia de tobas limosas con lentes de ceniza volcánica cuya coloración es parda clara con tonos grisáceos formada por líticos en una matriz limosa (Figura 3.10-a). Por otro lado en el poblado El Zorrillo se presenta la misma roca antes descrita, pero debido a la vegetación, ésta presenta un alto grado de intemperismo (Figura 3.10-b).

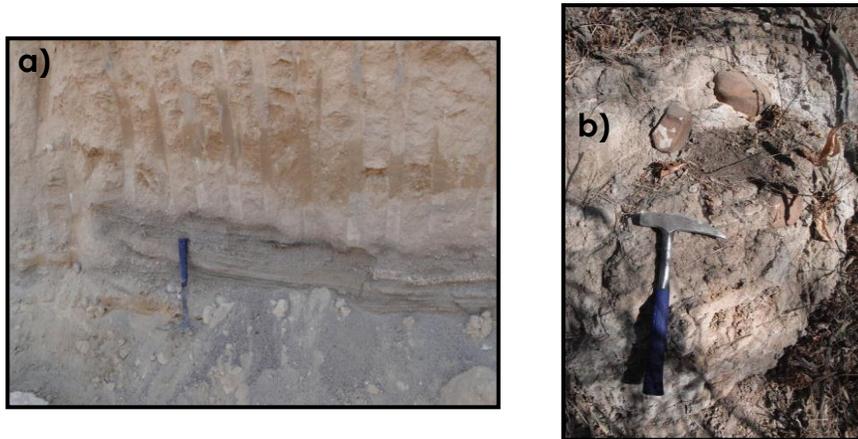


Figura 3.10 a) Toba lítica con lentes de ceniza (PVG-07-HU). b) Afloramiento cerca del poblado El Zorrillo, donde se observa el grado de intemperismo de la toba Amealco (PVG-17-HU).

- En el poblado La Poza, la roca muestra coloración al intemperismo gris claro con tonos rojos y al fresco rosado con tonos marrones, compuesta por feldespatos y micas en forma masiva y compacta (Figura 3.11). De acuerdo con la literatura consultada esta unidad podría considerarse una de las ignimbritas principales de la toba Amealco.



Figura 3.11 ¿Ignimbrita Principal? de la toba Amealco (PVG-15-HU).

Aguirre-Díaz (1993) toma el nombre de toba Amealco para describir esta secuencia que fue originada por la Caldera de Amealco describiéndola como una secuencia formada por tres ignimbritas principales, intercaladas con ignimbritas poco soldadas, pómez y flujos de lodo, llamándolas Amealco I, Amealco II y Amealco III, teniendo la Ignimbrita I y III la presencia de líficos.

El autor asigna un espesor de 15 a 30 m, aunque esta unidad llega a alcanzar un espesor de 70 m, y la edad que le asigna, por medio de fechamiento radiométrico es de 4.68 ± 0.10 Ma.

Los diferentes puntos de verificación geológica realizados permiten establecer que esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio formando planicies.

Ignimbrita Huimilpan (IgH)

La unidad presenta coloración gris fuerte a claro al intemperismo y al freso tonos rasados con tonos crema y pardo y contiene feldespatos, micas alteradas y líficos. Los cristales muestran cierta orientación y se encuentran en fiammes de pómez. La textura es porfídica y la roca es muy dura.

La ignimbrita Huimilpan es la roca volcánica más joven y en la zona de estudio se encuentra en la porción noroeste y al norte del poblado de Huimilpan (Figura 3.12). Aguirre-Díaz y López Martínez (2001) obtuvieron para esta unidad una edad de 3.42 ± 0.16 Ma, por lo que se le asigna una edad pliocénica.



Figura 3.12 Ignimbrita Huimilpan que aflora en la parte noroeste de la zona de estudio (PVG-14.HU).

Clásticos continentales (A1)

Los clásticos continentales reportados por Dávalos-Álvarez *et al.* (2005) no afloran dentro de la zona de estudio, pero fueron considerados para realizar el Plano 2 (Anexo G). Esta unidad está compuesta principalmente por aluvión, formado de sedimentos arcillosos y cubre una zona extensa. También existe coluvión de bloques de andesita, riolita e ignimbrita, contenidos en una matriz de arena fina.

Sin embargo, en la campaña de campo se registró un conglomerado polimíctico que aflora cerca de la ignimbrita Huimilpan que se encuentra al noroeste de la zona de estudio (Figura 3.13).

Este conglomerado polimíctico, mal clasificado y poco consolidado, es de coloración parda clara a crema y los clastos son redondeados a subredondeados, cuyos tamaños varían de 0.5 cm a aproximadamente 30 a 40 cm. Los clastos son de composición riolítica e ignimbrítica y están contenidos en una matriz arcillosa. Los autores antes mencionados coinciden con pequeños afloramientos de conglomerados polimícticos con espesores de 1 a 3 m.



Figura 3.13 Conglomerado polimíctico que aflora cerca de la ignimbrita Huimilpan (PVG-13-HU).

III.3 Unidades hidrogeológicas

Las unidades estratigráficas en el área de estudio se han agrupado con base en su potencial hidráulico y características litológicas, en 6 unidades hidrogeológicas:

Unidad Hidrogeológica	Formación Geológica
Acuitardo	Clásticos Continentales
Acuitardo	Ignimbrita Huimilpan
Acuífero	Toba Amealco
Acuicludo	Riolita El Rincón
Acuifugo	Andesita Guadalupe Andesita Vaquerías
Acuitardo	Riolita La Cuesta

Tabla 3.3 Unidades Hidrogeológicas del Acuífero Valle de Huimilpan.

III.4 Hidrología superficial

El estado de Querétaro pertenece a dos organismos de cuenca, la porción centro y oriente a la Golfo Norte y la porción poniente a la Lerma Santiago-Pacífico, a la cual pertenece el acuífero Valle de Huimilpan, y se ubica en dos cuencas hidrológicas: Río Panuco con 9,316 km² la cual vierte al Golfo de México y Río Lerma-Chapala, con 2,453 km² que desemboca al Océano Pacífico (CONAGUA, 2010). Para 2010, CONAGUA reporta la condición del acuífero como no sobreexplotado

La red hidrológica que se encuentra dentro de la zona de estudio drena hacia el norponiente en donde gran parte de los afluentes tales como los arroyos de tipo intermitente y los Ríos Hondo, Huimilpan, Florido y Bravo, vierten sus aguas hacia el Río El Pueblito (Figura 3.14).

A lo largo de todo el territorio que constituye al acuífero existen múltiples presas y bordos dentro de las cuales destacan las presas San José con 1.5 Mm³; el Zorrillo con 3 Mm³, Insurgente Miguel Domínguez con 5 Mm³ y Ceja de Bravo con una capacidad de 4.6 Mm³, además de los bordos como El Granjeno, La Escondida, El Vegil, Bordo Nuevo y Bordo San Luis.

La importancia de estos cuerpos de agua radica en que funcionan como reguladores climáticos al influir positivamente en los ecosistemas, además de servir de abrevaderos y ayudar con riegos de punteo para el inicio de los cultivos de maíz y frijol.

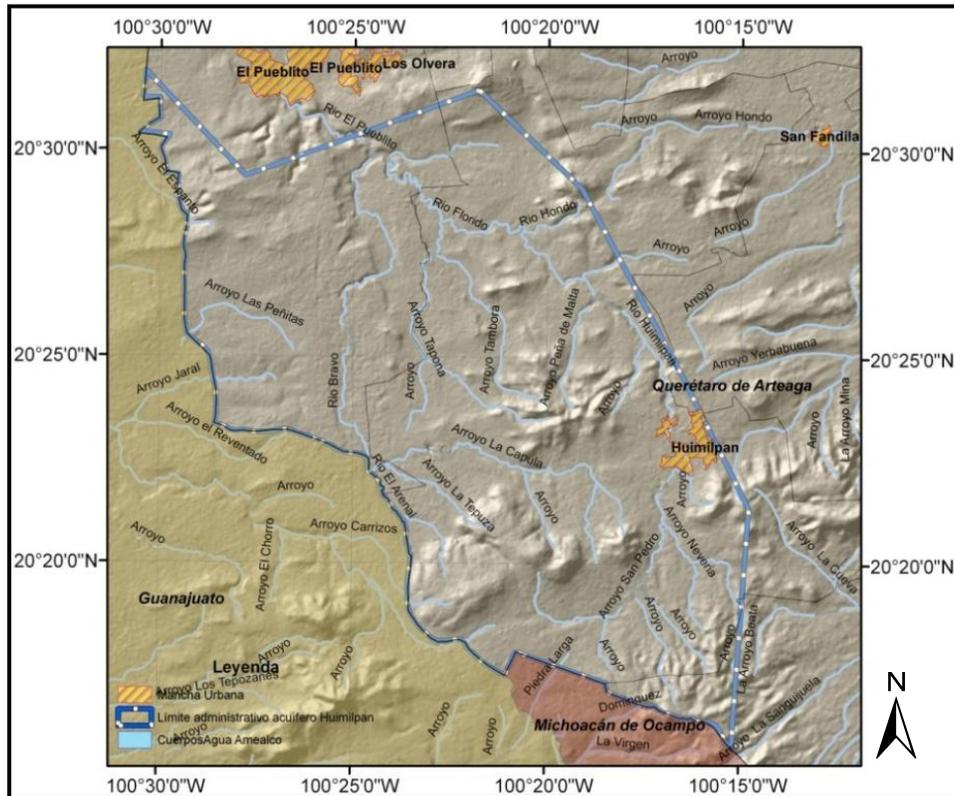


Figura 3.14 Hidrología del acuífero Valle de Huimilpan.

III.4.1 Climatología

En el estado de Querétaro se distinguen tres áreas climáticas: la porción sur, que comprende parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico; la región centro que abarca áreas del Eje Neovolcánico, La Sierra Madre Oriental y la Mesa del Centro; y la zona norte que corresponde a una porción de la Sierra Madre Oriental.

La zona que abarca el acuífero Valle de Huimilpan corresponde con un clima templado subhúmedo en casi toda la totalidad y el clima semiseco templado cubre la zona norte del acuífero (INEGI, 2011, Figura 3.15).

El clima templado subhúmedo es estable en lo que se refiere a temperatura, pues su régimen térmico medio anual varía de 12° a 18° C.

El clima semiseco templado se presenta en terrenos rodeados de sierras, mesetas y lomeríos que impiden el paso de los vientos húmedos del Golfo de México y la Mesa del Centro, que en sus laderas retiene la humedad de los vientos que viajan de Norte a Sur. La oscilación térmica media anual oscila entre 16° y 18° C.

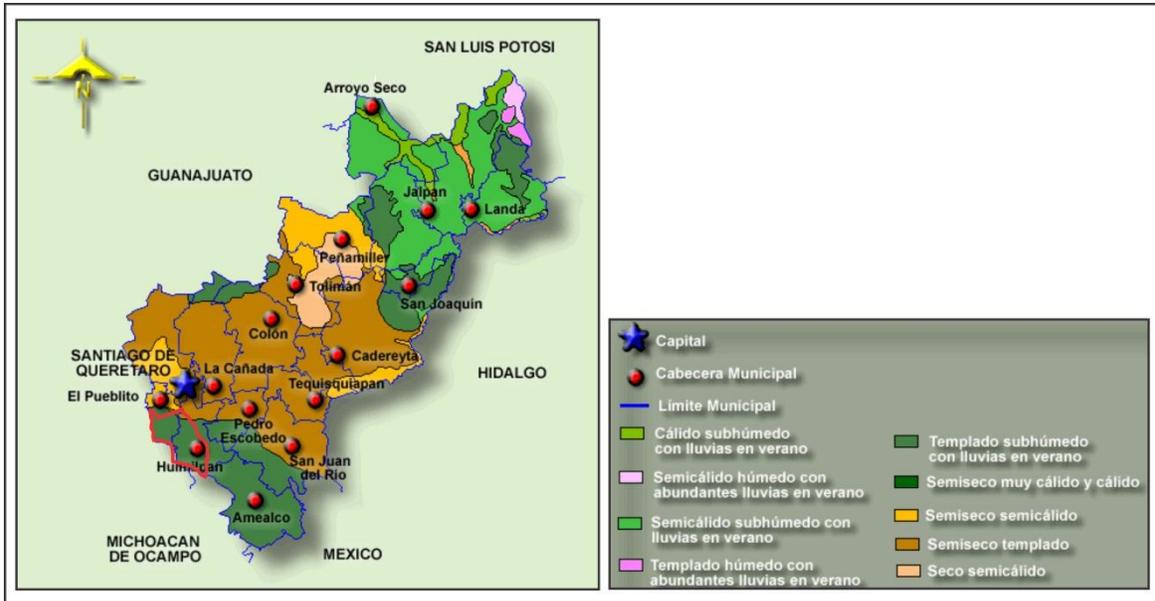


Figura 3.15 Climas presentes en el estado de Querétaro. Modificado de mapserver.inegi.gob.mx.

III.4.2 Precipitación

La precipitación que se presenta en el acuífero Valle de Huimilpan está relacionada con el clima (Figura 3.16). Para el clima semiseco templado la precipitación anual fluctúa entre 450 y 630 mm y para el clima templado subhúmedo de 630 y 860 mm, en donde las precipitaciones más abundantes se registran en verano (INEGI, 2011).



Figura 3.16 Precipitación anual en el estado de Querétaro. Modificado de mapserver.inegi.gob.mx.

III.5 Hidrología subterránea

III.5.1 Tipo de acuífero

El comportamiento del acuífero está condicionado por la litología, las estructuras volcánicas presentes y el sistema de fallas que existen en los alrededores del Valle de Huimilpan.

La zona de estudio alberga un acuífero emplazado en rocas volcánicas y en medios granulares, interestratificados e interdigitados entre sí, constituido principalmente por tobas. La existencia de rocas andesíticas constituye el límite impermeable del acuífero, no sólo a profundidad, sino también lateralmente. Este límite se encuentra a una profundidad aproximada entre 350 y 400 m.

Las fallas geológicas presentes en la zona funcionan como barreras semi-impermeables, dividen la zona de alto rendimiento en los valles, de la zona de bajo rendimiento en las montañas.

El acuífero es de carácter libre a semiconfinado en gran parte de su extensión. Esto se puede apreciar en el cambio de pendiente que se manifiesta en la gráfica logarítmica tiempo vs abatimiento en las pruebas de bombeo, mostrando una geometría correspondiente a la curva característica de acuíferos libres y semiconfinados controlados por drenaje diferido. En el subcapítulo IV.2 Pruebas de bombeo, se muestran los valores de las propiedades hidráulicas determinadas que sustentan el tipo de acuífero definido anteriormente. El nivel estático se encuentra a más de 80 m de profundidad, dentro de un medio anisótropo.

El sistema de flujo detectado es intermedio y tiene una dirección preferencial de sur a norte, limitado por la geología del subsuelo. El acuífero se encuentra en el límite entre la riolita fracturada y la toba arenosa con un espesor saturado que varía de 150 a 300 m. En la zona norte del acuífero, el nivel estático se encuentra a 140 m de profundidad aproximadamente en pozos perforados a 300 m.

Es importante destacar que las unidades litológicas para efectos de exploración hidrogeológica, son los derrames volcánicos basáltico-andesíticos fracturados y los depósitos de tobas limoarenosas; teniendo como premisa que los niveles de saturación son en realidad profundos, como se ha expuesto anteriormente.

III.5.2 Parámetros hidráulicos

De la recopilación de la información se extrajeron valores de transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S), siendo el único trabajo que los reporta el realizado por GUYSA (1996).

GUYSA (1996) llevó a cabo 10 pruebas de bombeo a caudal constante las cuales tuvieron una duración de tres a seis horas de duración y los resultados fueron interpretados por el método de Jacob-Cooper, cabe señalar que no todas las pruebas fueron interpretables (Tabla 3.3).

Pozo	Duración (hrs)	Nivel Estático (m)	Nivel Dinámico (m)	Caudal (l/s)	T (m ² /d)
675	6	108.35	109.35	11	N.I.
708	3	42.10	45.39	44	N.I.
712	3	56.78	57.13	40	N.I.
1481	3	59.06	68.52	16	699.84
1751	3	61.20	70.21	21	1,658.88
1752	6	92.08	113.37	12	751.68
1889	7	80.09	80.34	40	N.I.
2349	3	55.98	79.02	23	155.52
2351	3	91.26	98.61	45	2,851.2
2355	3	39.83	41.36	3	198.72

Tabla 3.3 Resumen de pruebas de bombeo elaboradas por GUYSA (1996).

El rendimiento específico (S_y) se obtuvo del trabajo "Evaluación geohidrológica y modelación matemática en el Valle del Milagro" (1996), el cual tiene un valor de 0.035. Es importante mencionar que este valor se obtuvo de un trabajo previo realizado por GUYSA (1995), mismo que no se pudo obtener durante la recopilación de la información.



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).

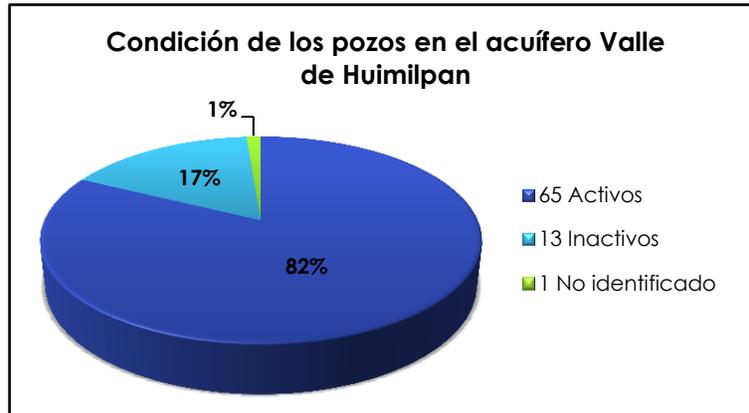


Figura 4.1 Relación entre pozos activos e inactivos en el acuífero Valle de Huimilpan.

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).

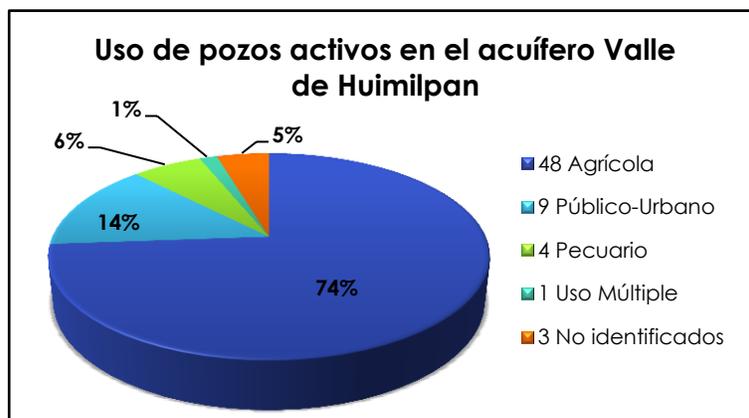


Figura 4.2 Uso de aprovechamientos subterráneos en el acuífero Valle de Huimilpan.

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).

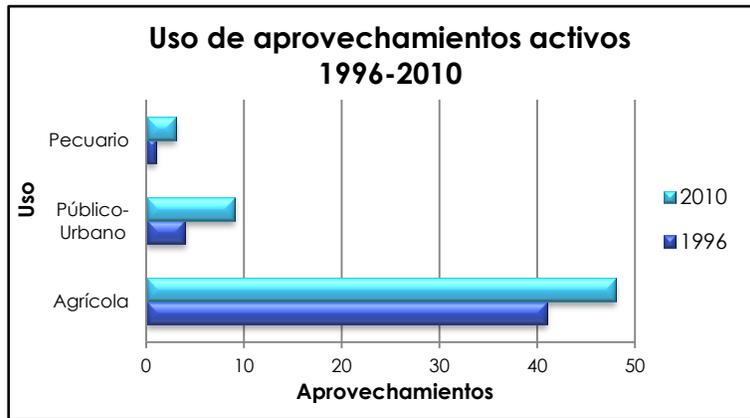


Figura 4.3 Comparación del uso de los aprovechamientos activos en 1996 y 2010.

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 m²/d correspondiente a la etapa de bombeo (Figura 4.4) y de 150 m²/d para la etapa de recuperación (Figura 4.5).

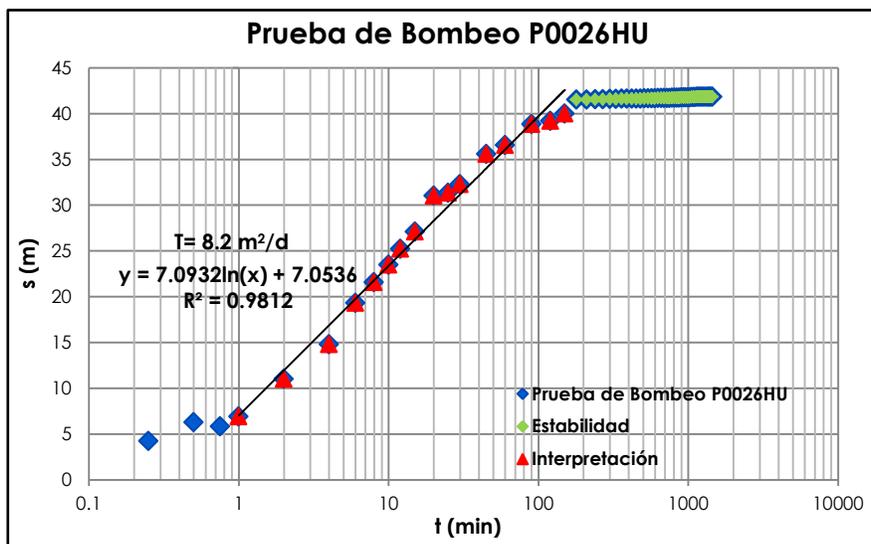


Figura 4.4 Gráfica de abatimiento vs logaritmo del tiempo P0026HU.

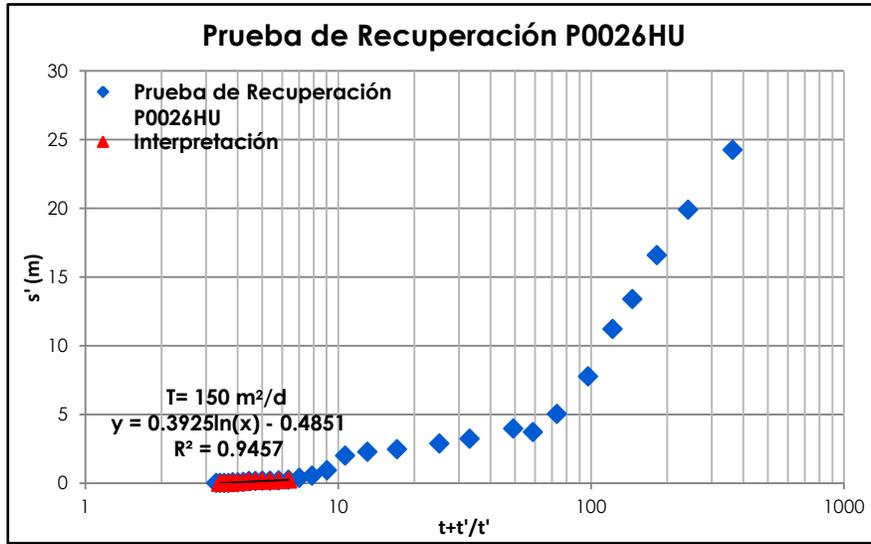


Figura 4.5 Gráfica recuperación vs logaritmo del tiempo normalizado P0026HU.

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 m²/d correspondiente a la etapa de bombeo (Figura 4.6) y de 62.89 m²/d para la etapa de recuperación (Figura 4.7).

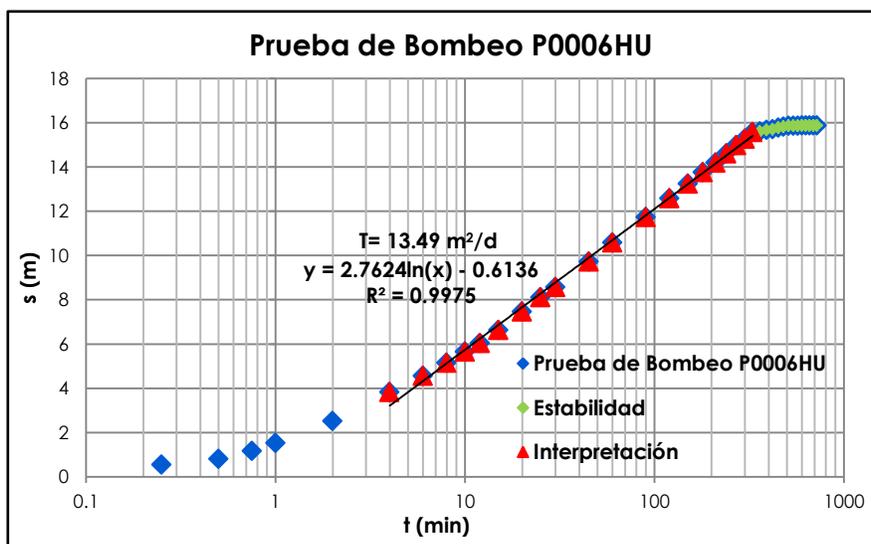


Figura 4.6 Gráfica de abatimiento vs logaritmo del tiempo P0026HU.

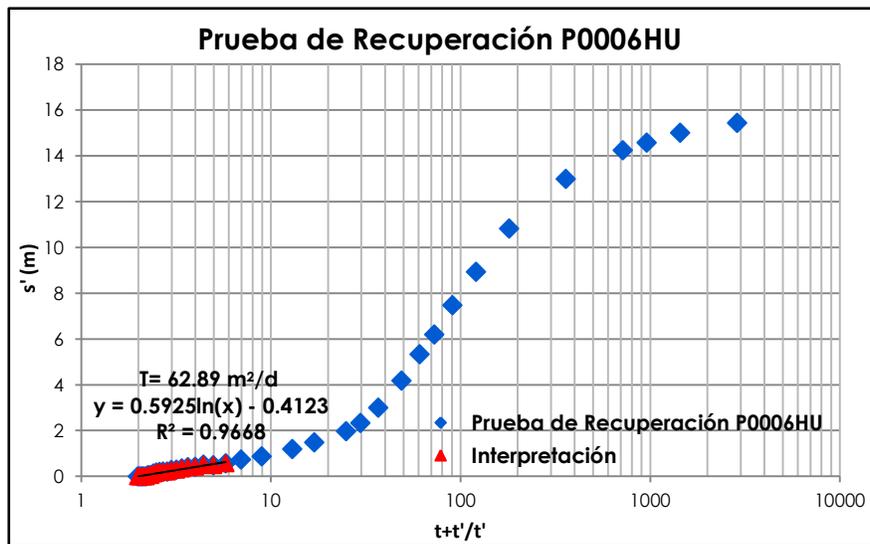


Figura 4.7 Gráfica recuperación vs logaritmo del tiempo normalizado P0006HU.

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 S_y 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.

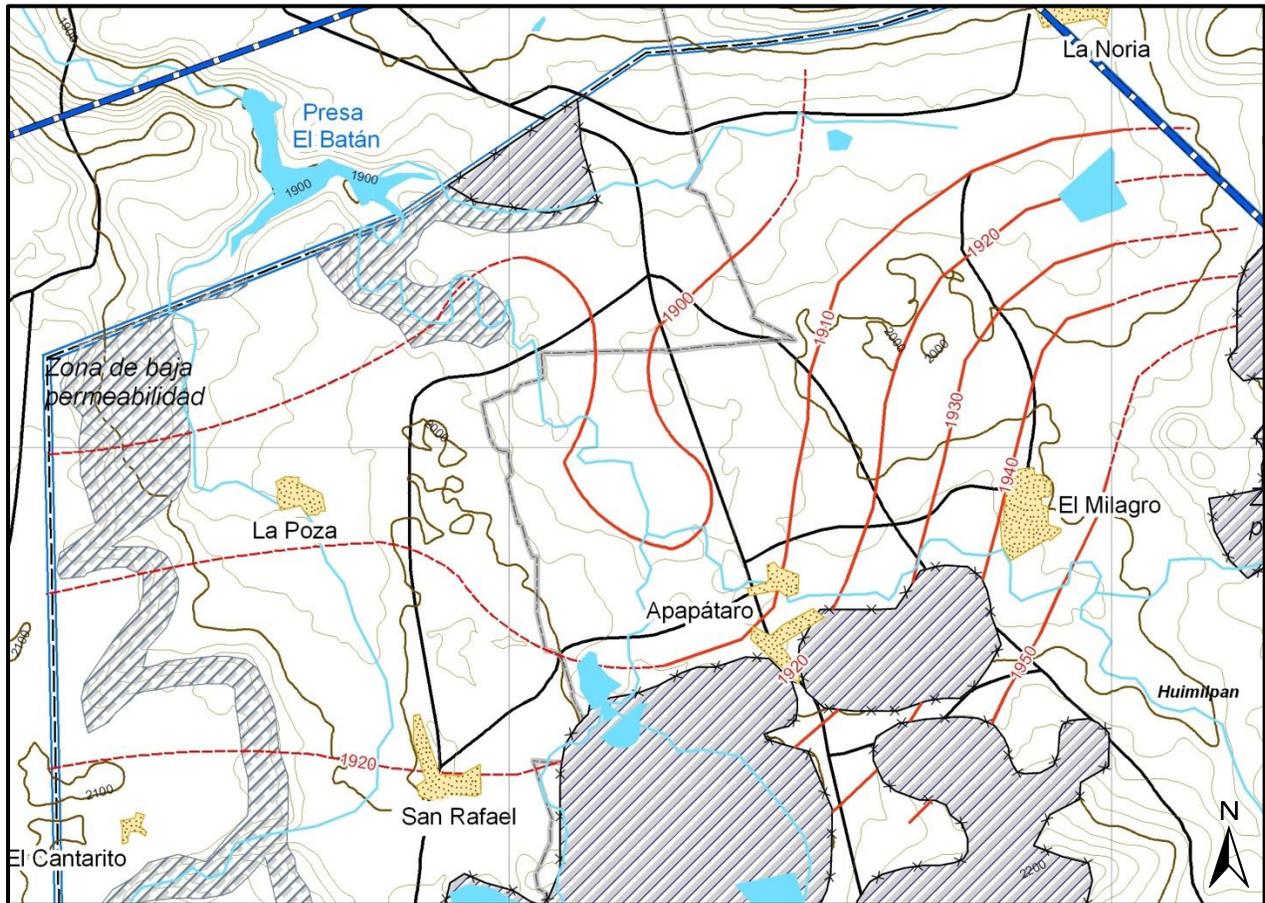


Figura 4.8 Modelo piezométrico (msnm) 1994.

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).

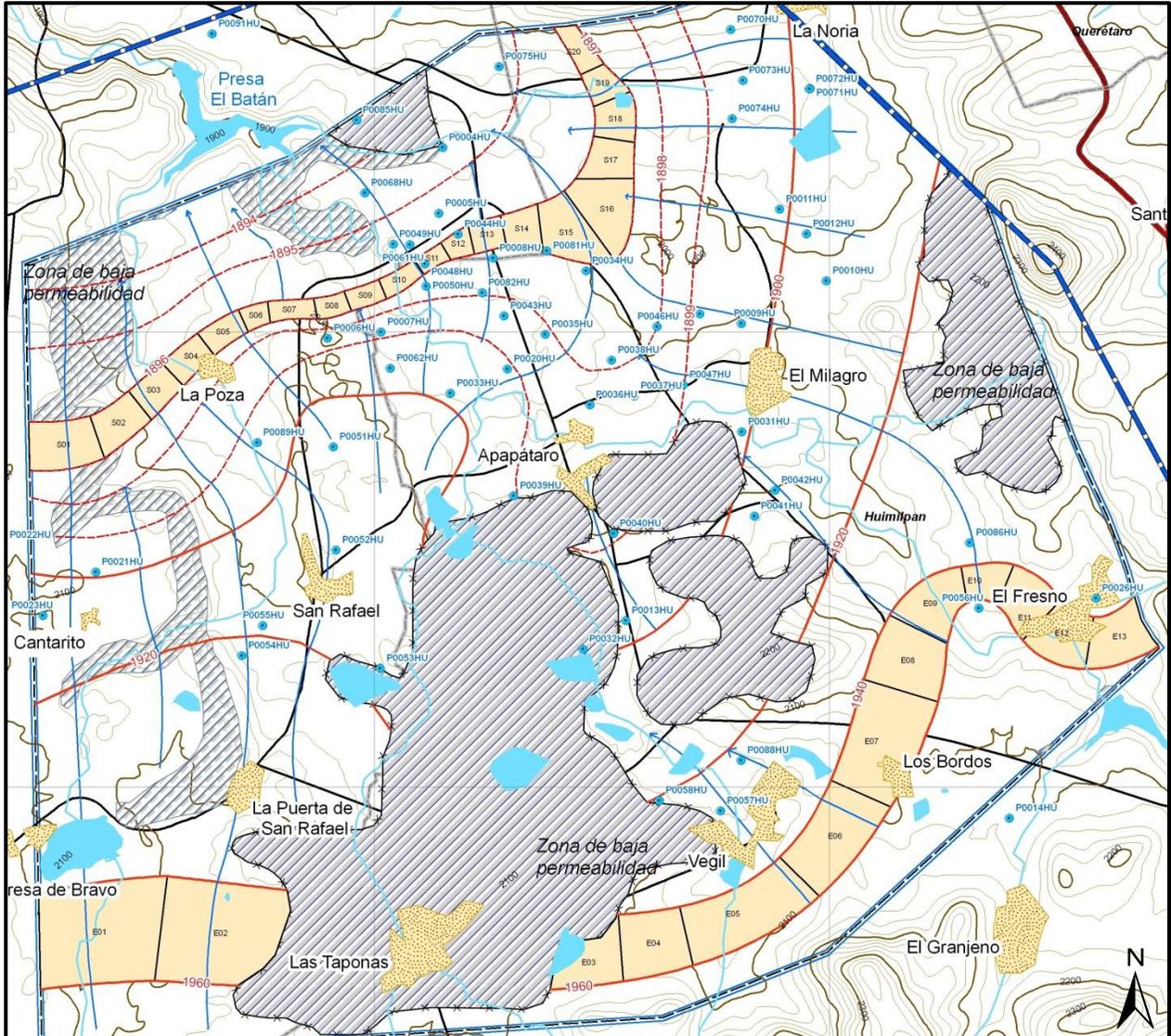


Figura 4.9 Modelo piezométrico (msnm) 2010.

IV.4.3 Evolución piezométrica 1994-2010

Con las piezometrías 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.

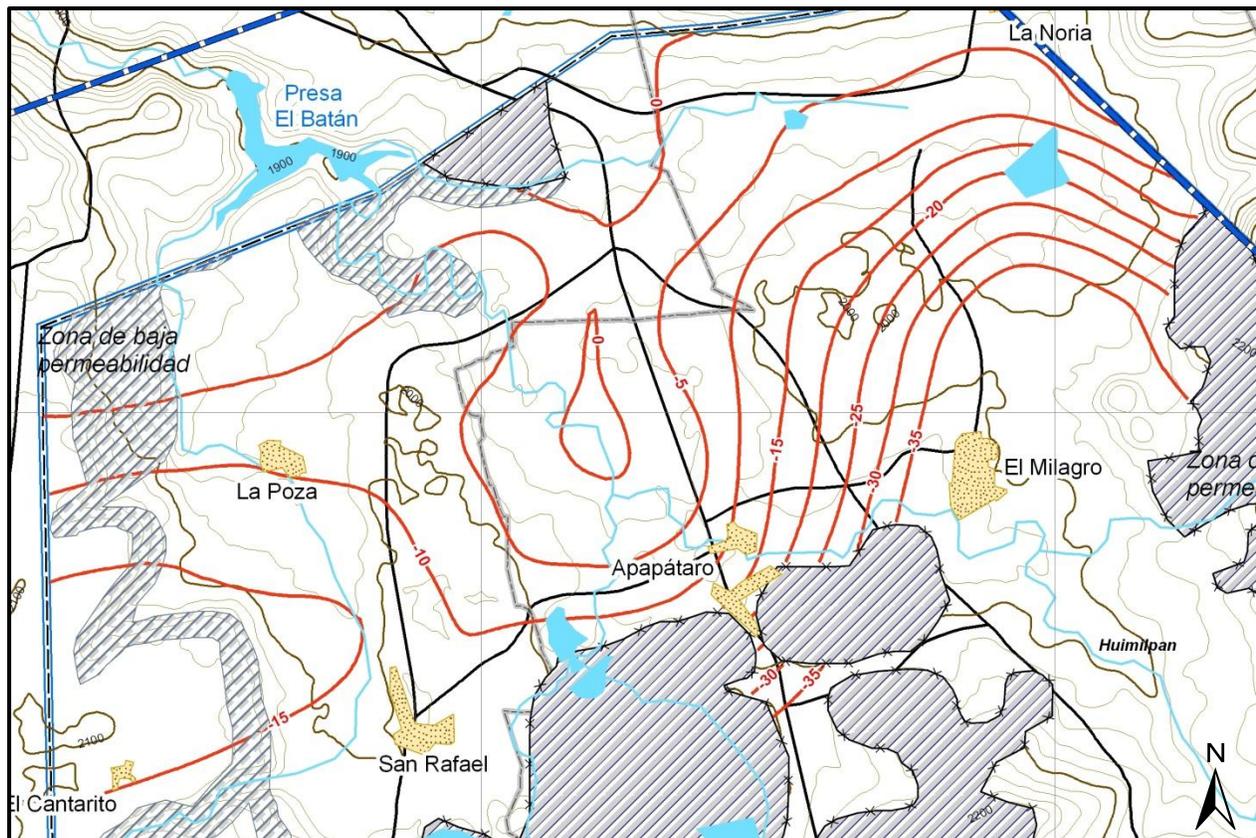


Figura 4.10 Evolución piezométrica (msnm) 1994-2010.

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 m ³ /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.

		Extracción (Mm ³ /año)	Incremento en la extracción (%)				
			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.

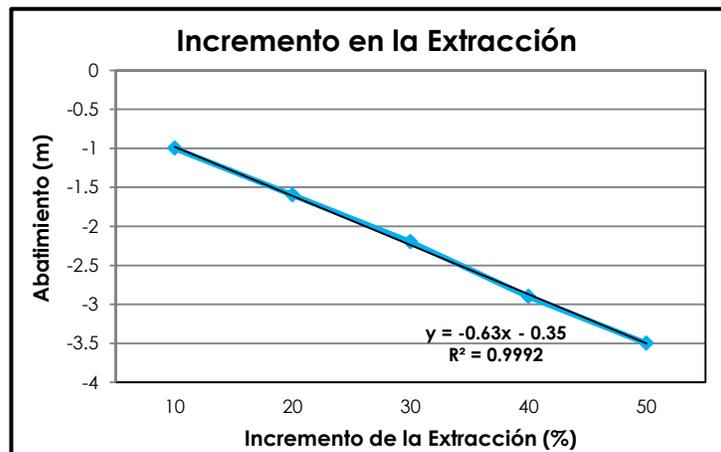


Figura 4.10 Incremento de la extracción vs abatimiento.

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.

Uso	Extracción (Mm ³ /año)	Disminuye la Extracción (%)				
		5	10	15	20	25
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.

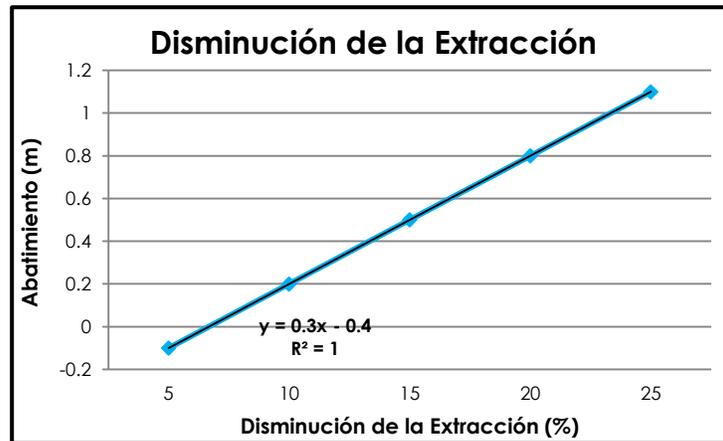


Figura 4.11 Disminución de la extracción vs abatimiento.

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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

V.1 Conclusiones
V.2 Recomendaciones

V.1 Conclusiones

1. De acuerdo al censo realizado, se cuenta en el acuífero con 79 pozos los cuales 48 pertenecen al sector agrícola, 4 son pecuarios, 1 de uso múltiple y 9 son público-urbano. El volumen de extracción es de 23.67 Mm³/año.
2. El nivel estático en el acuífero Valle de Huimilpan se encuentra a una profundidad promedio de 84 m (2010) de acuerdo a la información de 43 pozos que se encuentran dentro de los límites publicados en el Diario Oficial de la Federación en el 2009.
3. Las pruebas de bombeo realizadas dieron como resultado una transmisividad de 150 m²/día, sin embargo al no tener pozos de observación en ninguna de las pruebas realizadas no fue posible determinar el coeficiente de almacenamiento, por lo tanto se usó el valor en estudios previos, el cual es congruente con la literatura y el tipo de acuífero.
4. La prueba de bombeo realizada en el pozo P0026HU se utilizó para el cálculo de la Recarga Vertical (Rv) ya que la prueba de bombeo fue de mayor duración y los resultados obtenidos son más certeros y representan un mejor parámetro para describir el comportamiento del acuífero.
5. El valor obtenido de la recarga vertical es de 7.85 Mm³/año con un coeficiente de infiltración de 0.03, lo que significa que la velocidad de infiltración es lenta, trayendo como consecuencia que el agua que se extrae sea mayor que la que se incorpora al acuífero producto de la recarga vertical.
6. El balance de aguas subterráneas muestra un cambio de volumen almacenado negativo debido a que la excesiva extracción altera el equilibrio en el balance de masas, con un déficit en la recarga total.
7. En términos de disponibilidad de agua subterránea, el acuífero cuenta aún con un superávit de alrededor de 3.35 Mm³ anuales considerando el volumen concesionado en el REPDA. Sin embargo, utilizando el volumen del censo que se realizó muestra que se tiene un déficit de 1.62 Mm³/año.
8. Con miras en la conservación del acuífero Valle de Huimilpan, la extracción no puede aumentar debido a que los datos arrojados de la

presente tesis muestran que se muestra sobreexplotado. Un aumento del 10% de la extracción generaría un abatimiento 1 m, por el contrario si disminuye el porcentaje antes mencionado, el nivel estático sufrirá una recuperación de 0.6 m comparado con el nivel estático actual.

9. En caso de llegarse a implementar el escenario con base en la evolución demográfica, el abastecimiento poblacional para un periodo futuro de 50 años se encuentra garantizado con el caudal de extracción actual, ya que el abastecimiento se encuentra con un superávit de 1.35 Mm³/año. Si la extracción actual se reduce con miras a la población futura de 10 años, 0.53 Mm³/año, el nivel estático solo sufrirá un abatimiento de 0.09 m, lo que podría significar que el sistema acuífero pudiera llegar a estar en equilibrio.

V.2 Recomendaciones

Con base en los resultados de esta tesis, se derivan las siguientes recomendaciones con miras a mejorar el conocimiento del acuífero y dar estimaciones más reales en relación al estado de explotación.

1. De acuerdo a la disponibilidad, es recomendable mantener la capacidad instalada y el bombeo en las condiciones actuales para preservar el acuífero a mayor tiempo.
2. Es importante asimilar, que el balance de aguas subterráneas es una herramienta fundamental para estimar el grado de explotación del acuífero. No obstante, el período evaluado de 16 años es una enorme limitación en la precisión de los resultados obtenidos. Es aventurado estimar un cambio en el volumen almacenado con una superficie potenciométrica de 1994 y otra de 2010. En este sentido, es recomendable que el balance de este acuífero sea una actividad que deba implementarse permanentemente para optimizar la gestión hídrica en esta zona.
3. Implantar una red de pozos piloto que incluyan pozos de observación para dar continuidad al registro de la evolución piezométrica una o dos veces al año, para establecer temporalmente la variación potenciométrica del acuífero. En este punto es importante que se considere instrumentar la mayor cantidad posible de piezómetros con transductores cerámicos de presión, que midan automáticamente la carga hidráulica, temperatura y conductividad eléctrica del agua subterránea. Esto mejorará el entendimiento del acuífero, las variaciones temporales de la dirección de flujo subterráneo, la capacidad del

acuífero cuando es sometido a bombeos intensivos, entre muchas otras cosas.

4. Es fundamental estimar con más detalle la variación de los parámetros hidráulicos del acuífero, particularmente el coeficiente de almacenamiento (S). Es importante comentar que el balance de aguas subterráneas llevado a cabo se completó usando un valor de $S = 0.035$ reportado por GUYSA (1996), sin embargo es fundamental actualizar este valor y estimar su variación espacial. Para ello se recomienda ejecutar varias pruebas de bombeo, repartidas en la entrada y salida de agua del acuífero, donde se midan al menos durante 72 horas, los abatimientos del nivel piezométrico en los pozos de bombeo y en pozos de observación.

De no contar con pozos de observación, se deberán perforar nuevos sondeos que puedan servir a corto plazo como pozos de observación, y a largo plazo podrán instrumentarse como piezómetros que otorguen información valiosa con relación a las tasas temporales de abatimiento. De las futuras perforaciones es vital obtener los cortes litológicos ya que será información que permitirá comprender, integrar e interpretar la geología de la zona.

5. Se recomienda llevar un estudio que permita conocer los tipos de cultivo de la zona y así poder implementar adecuadamente el tipo de riego para cada cultivo, lo que significará que la gestión del recurso hídrico en el uso agrícola tenga un rendimiento óptimo.
6. Llevar a cabo la reforma de la NOM-011-CONAGUA-2000 en donde se especifique que la disponibilidad de agua se calcule mediante los datos directos de los estudios hidrogeológicos. En caso de seguir usando el REPDA, se debe de actualizar constantemente.
7. Actualizar la base de datos de los pozos en el REPDA con los datos obtenidos en este censo para que sean útiles como parámetros, así mismo, con el objetivo de actualizar la información del aprovechamiento o descartar el título y así aplicar satisfactoriamente lo establecido en la NOM-011- CONAGUA -2000.
8. Es importante conocer a detalle la hidroestratigrafía del subsuelo, por lo que sería recomendable realizar estudios geofísicos (p.ej., transitorios electromagnéticos en el dominio del tiempo), al menos a una profundidad de investigación de 400 m, con objeto de correlacionar firmas resistivas con las formaciones acuíferas, estimar espesores

saturados en diferentes zonas y acotar con más detalle la geometría del acuífero.

9. Debido a que el acuífero se encuentra sobreexplotado, se recomienda realizar un estudio de factibilidad de recarga artificial, complementado con el desarrollo de un modelo numérico de flujo en estado transitorio y con los escenarios hipotéticos de explotación, además de disminuir la dotación de agua por habitante, llevando a cabo campañas para concientizar a la población del uso del agua subterránea.

Referencias Citadas

Aguirre-Díaz G.J., 1996, Volcanic stratigraphy of the Amealco caldera and vicinity, central Mexican Volcanic Belt, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 13, 10-51.

Aguirre-Díaz, G.J., López-Martínez, M., 2001, Evolución geológica de la caldera de Huichapan, Hidalgo, en base a nuevas edades $40\text{Ar}-39\text{Ar}$, *GEOS*, v. 21, 320-321.

Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Reyes-Zaragoza, M.A., Orozco-Esquivel, M.T., Ojeda-García, A.C., Vassallo, L.F., 2001, Estratigrafía y deformación extensional en la región San Miguel de Allende-Querétaro, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 18, 129-148.

Baker, P., 2007, Groundwater Recharge (en línea), en *Science for Decision Makers*, <http://adl.brs.gov.au/brsShop/data/sfdm_groundwater_recharge.pdf>, acceso libre, consulta: Mayo-Junio 2011.

Comisión Nacional del Agua, Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, *Diario Oficial de la Federación*, 17 de abril de 2002.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2010, Estadísticas del Agua en México, edición 2010, México. D.F., Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 249 p.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), <<http://www.conagua.gob.mx/atlas/>>, Mayo-Junio 2011.

Cook P.G., Solomon D.K., 1997, Recent advances in dating young groundwater: chlorofluorocarbons, $^3\text{H}/^3\text{He}$ and ^{85}Kr , *Journal of Hydrology*, v. 191, 245-265.

Cooper, H.H., Jacob C.E., 1946, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, *Am. Geophys. Union Trans.*, v. 27, 526-534.

Custodio, E., Llamas, M.R., 2001, Hidrología subterránea, v. 1, 2ª ed. Ediciones Omega, Barcelona, 1157 p.

Darcy, H., 1856, Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Dalmont, Paris, 647 p.

Dávalos-Álvarez, O.G., 2003, Evolución de las Fallas Mayores del Neogeno-Cuaternario, en la Región de Huimilpan, Querétaro, México, San Luis Potosí, S.L.P., Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Área Ciencias de la Tierra, tesis de licenciatura, 93 p.

Dávalos-Álvarez O.G., Nieto-Samaniego A.F., Alaniz-Álvarez S.A., Gómez-González A.F., 2005, Las Fases de Deformación Cenozoica en la Región de Huimilpan, Querétaro y su relación con la sismicidad local, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22(2), 129-147.

Comisión Nacional del Agua, Acuerdo por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos, Diario Oficial de la Federación, tomo DCLXXI(20), 2009, 402 p.

Ferrari L., 2000, Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. LIII, 84-92.

Flury M., Fluhler H., Jury W.A., Leuenberger J., 1994, Susceptibility of soils to preferential flow of water en Scanlon B.R., Healy R.W., Cook P.G., Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, v.10(2), 18-39.

Fondo para las Naciones Unidas (UNICEF), <<http://www.unicef.org/>>, Junio 2011.

GEO-ALFA Geotecnia – Perforación Exploratoria, Estudio de Prospección Hidrogeológica en el Área de la Comunidad el Fresno, Municipio de Huimilpan, Estado de Querétaro, Agosto 2006, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

Guysa, Geofísica de Exploraciones S.A. de C.V., Evaluación geohidrológica de los valles El Milagro y Lagunillas ubicados en los municipios de Villa Corregidora y Huimilpan, 1993, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

Guysa, Geofísica de Exploraciones S.A. de C.V., Actualización geohidrológica del Valle de Huimilpan, El Milagro y Lagunillas, 1995, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

Guysa, Geofísica de Exploraciones S.A. de C.V., Evaluación geohidrológica y modelación matemática en el Valle del Milagro. Municipio de Huimilpan, Estado de Querétaro, 1996, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

Halford, K.J., 2006, Interpreting Hydrogeologic Columns with Multiple Aquifer Tests and a Moving-Model Approach, MODFLOW and More 2006, Managing Ground-Water Systems, 491-495.

Healy, R, Cook, P., 2002, Using groundwater levels to estimate recharge, Hydrogeology Journal, v.10 (1), 91-109.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/qro/precipit.cfm?c=444&e=22>>, Mayo 2011.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/qro/fisio.cfm?c=444&e=20>>, Junio 2011.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=22>>, Junio 2011.

Jacob C.E., 1950, Flow of ground-water, In *Engineering Hydraulics*, Rouse H., Wiley, New York, 321-386.

Nativ R., Adar E., Dahan O., Geyh M., 1995, Water recharge and solute transport through the vadose zone of fractured chalk under desert conditions, *Water Resources Res* 31, 253-261.

Nelson, S.A., Sánchez-Rubio, G., 1986, Trans-Mexican Volcanic Belt Field Guide: Geological Association of Canada, Volcanology Division & Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 108 p.

Nieto-Samaniego A.F., 1990, Fallamiento y estratigrafía cenozoica en la parte sudoriental de la Sierra de Guanajuato, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, v. 9(2), 146-155.

Organización Mundial de la Salud (OMS, WHO), <<http://www.who.int/es/>>, Junio 2011.

Portniaguine O., Solomon D.K., 1998, Parameter estimation using groundwater age and head data, Cape Cod, Massachusetts, Water Resources Research, v. 34(4), 637-645.

Scanlon B.R., Healy R.W., Cook P.G., 2002, Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, Hydrogeology Journal, v.10(2), 18-39.

Servicios en Aguas Subterráneas, Prospección hidrogeológica para la perforación de un pozo de abastecimiento de agua potable a la comunidad "Ceja de Bravo", 2003, Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro.

Sharma M.L., Cresswell I.D., Watson J.D., 1985, Estimates of natural groundwater recharge from the depth distribution of an applied tracer, subsurface flow, pollutant transport, and salinity, Institute of Engineers, Melbourne, Victoria, Australia, v. 85, 64-70.

Subyani A., Sen K., 2006, Refined chloride mass-balance method and its application in Saudi Arabia, Hydrological Processes, v.20, 4373-4380.

Verma, S.P., Carrasco-Nuñez, G., Milán, M., 1991, Geology and geochemistry of Amealco caldera, Qro., México, Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 47(1-2), 105-127.

Walton, W.C., 1970, Groundwater Resources Evaluation, McGraw-Hill Kogakusga, Ltd., Tokio, 664 p.

Wood W.W., Sanford W.E., 1995, Chemical and isotopic methods for quantifying groundwater recharge un a regional, semiarid environment, Ground Water, v.33, 458-468.

Zúñiga, F.R., Pacheco, J.F., Guzmán-Speziale, M., Aguirre-Díaz, G.J., Espíndola, V.H., Nava, E., 2003, The Sanfandila earthquake sequence of 1998, Querétaro, México; activation of an undocumented fault in the northern edge of central Trans-Mexican Volcanic Belt, Tectonophysics, v. 361, 229-238.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Anexo A

Puntos de Verificación Geológica

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		1	CLAVE PTO		PVG-01-HU	
ESTADO	Querétaro					
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa SGM		Querétaro, F14-10	
POBLADO	El Aserrín		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76	
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Ignimbrita Amealco		COORDENADAS UTM (GPS)		X	372945
					Y	2245173
			ELIP.	WGS84	Z	2398
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO						
1. COLOR: Gris oscuro a la intemperie/ Café claro con óxidos en superficie fresca.						
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Piroclástica.						
3. TEXTURA: Arenosa, piroclástica.						
4. MINERALOGÍA: Líticos y matriz arenosa.						
5. OTRAS PROPIEDADES: -----						
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba.						
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)						
Depósitos piroclásticos muy alterados. Fracturamiento perpendicular al plano de depósito.						
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO						
						
FECHA	27-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez		

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		2	CLAVE PTO		PVG-02-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	El Aserrín		COORDENADAS UTM (GPS)		X 372398 Y 2245787
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Ignimbrita Amealco		ELIP.	WGS84	Z 2390
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Marrón claro.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Piroclástica.					
3. TEXTURA: Arenosa, piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos y matriz arenosa.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Capas de Toba arenosa.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	27-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		3	CLAVE PTO		PVG-03-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	La Joya		COORDENADAS UTM (GPS)		X 370414 Y 2247914
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Riolita El Rincón		ELIP.	WGS84	Z 2397
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Gris oscuro en la superficie intemperizada / Gris rosado en superficie fresca.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Volcánica.					
3. TEXTURA: Porfídítica.					
4. MINERALOGÍA: Feldespatos potásicos y ferromagnesianos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Riolita					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Riolita fracturada (fracturamiento conjugado). Contacto difuso entre riolita y toba. Compactación.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	27-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		4	CLAVE PTO		PVG-04-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Los Cués		COORDENADAS UTM (GPS)		X 369147 Y 2268109
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Andesita Vaquerías		ELIP.	WGS84	Z 1972
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Gris oscuro y marrón claro a fuerte.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Feldespatos potásicos, vidrio, cuarzo y ferromagnesianos en una matriz arenosa.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Ubicada en la misma posición que un pozo de agua potable perteneciente a CEA Querétaro. Desarrollo de cubierta edáfica.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	27-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		5	CLAVE PTO		PVG-05-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO			COORDENADAS UTM (GPS)		X 354503
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Riolita El Rincón		Y 2246011		
			ELIP.	WGS84	Z
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Marrón claro con motas blancas y grises.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Fanerítica.					
4. MINERALOGÍA: Feldespatos potásicos, vidrio, cuarzo y ferromagnesianos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Riolita.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Material ígneo fracturado (juntas de enfriamiento). El afloramiento presenta agua almacenada que forma un estanque.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	28-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		6	CLAVE PTO		PVG-06-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO			COORDENADAS UTM (GPS)		X 354130
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		Y 2249727		
			ELIP.	WGS84	Z
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Marrón claro.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos, óxidos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba lífica.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Laminación de material tobáceo con líticos de 0.5 a 2 cm dentro de una matriz arenosa.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
 					
FECHA	28-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

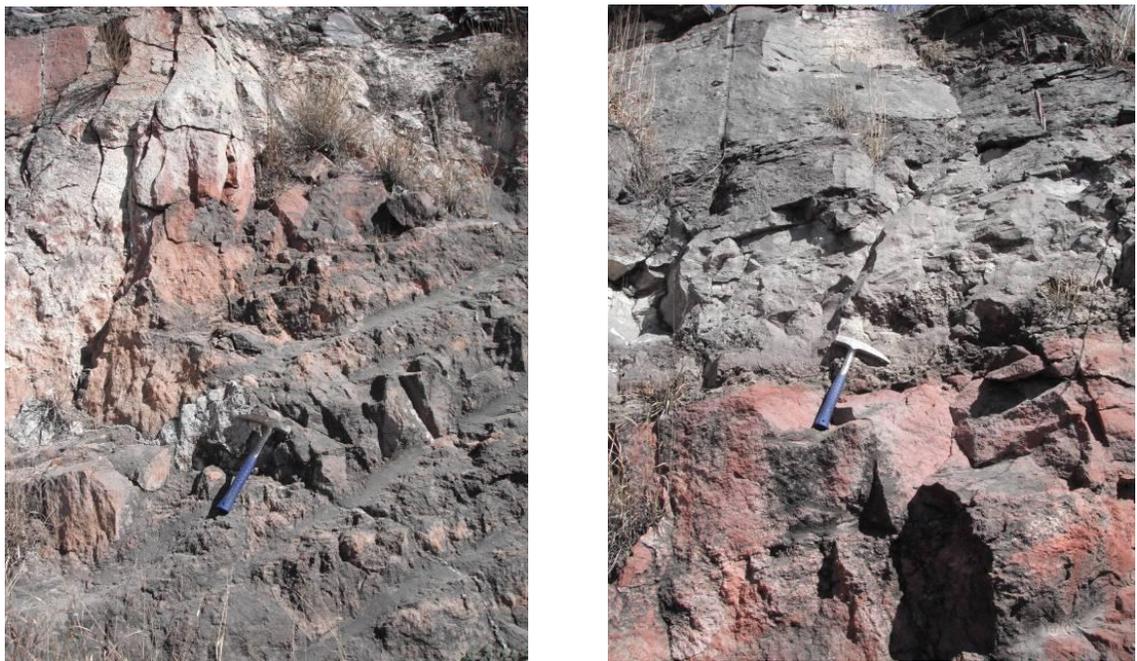
FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		7	CLAVE PTO		PVG-07-HU		
ESTADO	Querétaro						
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa SGM	Querétaro, F14-10			
POBLADO	Bravo		Mapa INEGI	Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76			
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		COORDENADAS UTM (GPS)		X	350685	
			ELIP.		WGS84	Y	2256754
					Z	2149	
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO							
1. COLOR: Pardo con tonos grisáceos.							
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.							
3. TEXTURA: Piroclástica.							
4. MINERALOGÍA: Líticos en matriz limosa.							
5. OTRAS PROPIEDADES: -----							
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba lítica con matriz limosa.							
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)							
Presencia de lentes de ceniza volcánica.							
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO							
							
FECHA	28-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez			

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		8	CLAVE PTO		PVG-08-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Puerta de San Rafael		COORDENADAS UTM (GPS)		X 354937
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Andesita Vaquerias		UTM (GPS)		Y 2258824
			ELIP.	WGS84	Z
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Gris oscuro y gris rosado.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Volcánica.					
3. TEXTURA: Porfídica.					
4. MINERALOGÍA: Escaso cuarzo, ferromagnesianos y plagioclasa.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Andesita.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Derrame andesítico afectado por fracturamiento regional.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	28-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		9	CLAVE PTO		PVG-09-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Taponas		COORDENADAS UTM (GPS)		X 356163
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		Y 2256389		
			ELIP. WGS84	Z 2114	
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Café claro con tonos blancos.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba lítica.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Los líticos se encuentran en una matriz arenosa por lo que también podría clasificarse como toba arenosa.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	28-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		10	CLAVE PTO		PVG-10-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Huimilpan		COORDENADAS UTM (GPS)		X 361048
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Riolita La Cuesta		Y 2253144		
			ELIP. WGS84	Z 2255	
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Gris claro con motas rosas.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Porfídica.					
4. MINERALOGÍA: Feldespatos potásicos, cuarzo, plagioclasa y ferromagnesianos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Juntas de enfriamiento.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Riolita.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
En la zona hay una gran cantidad de bloques rodados.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	28-Noviembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		11	CLAVE PTO		PVG-11-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	La Cuesta		COORDENADAS UTM (GPS)		X 365351 Y 2257424
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		ELIP.	WGS84	Z 2243
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo-marrón.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Pseudoestratificación, líticos bien redondeados.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Depósito en dos episodios. Gradación normal.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		12	CLAVE PTO		PVG-12-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Corregidora		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Batán		COORDENADAS UTM (GPS)		X 351156 Y 2269191
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		ELIP.	WGS84	Z 1890
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo, gris.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Alteración a minerales arcillosos, ortoclasa.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Contacto entre dos unidades.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Cima: Basalto; Base: Toba.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Secuencia de depósitos volcánicos.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		13	CLAVE PTO		PVG-13-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Corregidora		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Batán		COORDENADAS UTM (GPS)		X 351464 Y 2268250
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Clásticos Continentales		ELIP.	WGS84	Z 1865
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo claro a crema.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Sedimentaria.					
3. TEXTURA: Clástica.					
4. MINERALOGÍA: Rodados de 40 mm a 30 cm en matriz arcillosa.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Bloques redondeados.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Conglomerado polimíctico.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Depósito de clastos mal seleccionados, clastos subangulosos y redondeados.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		14	CLAVE PTO		PVG-14-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Corregidora		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Batán		COORDENADAS UTM (GPS)		X 351255 Y 2268082
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Ignimbrita Huimilpan		ELIP.	WGS84	Z 1912
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Al intemperismo: gris fuerte a claro. Al fresco: tonos rosados, crema y algunas motas pardas.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Porfídica.					
4. MINERALOGÍA: Cuarzo, feldspatos, micas alteradas y líticos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Fragmentos angulosos a subredondeados.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Ignimbrita.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Fiammes de pómez. Muy compacta.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

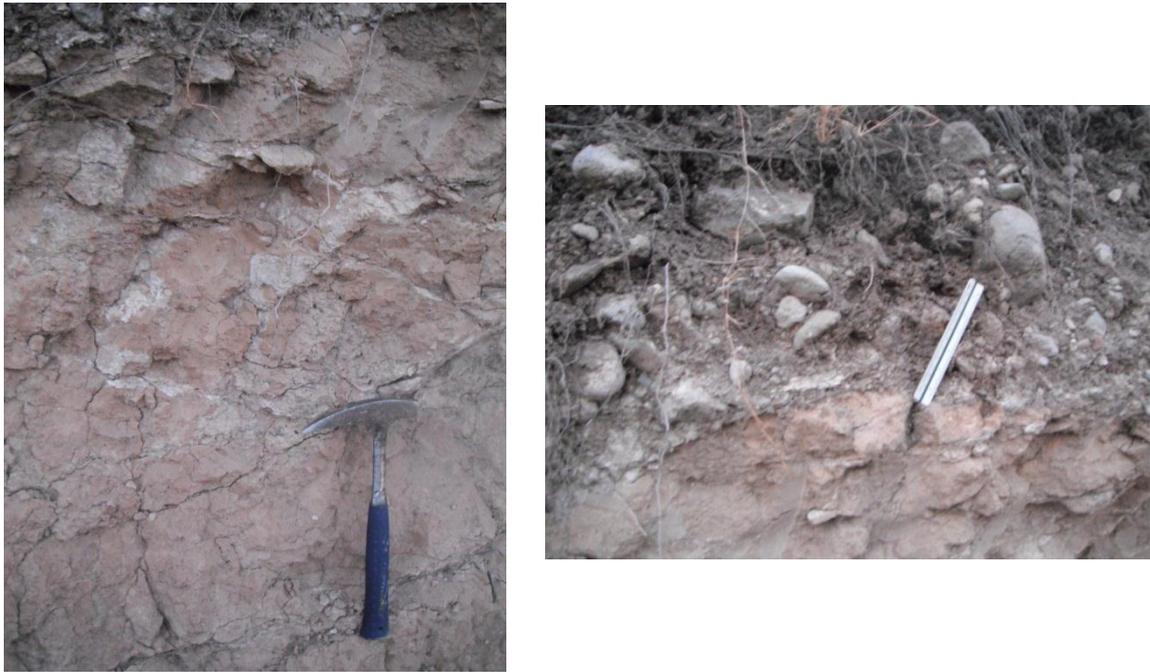
FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		15	CLAVE PTO		PVG-15-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Corregidora		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	La Poza		COORDENADAS UTM (GPS)		X 352460 Y 2264831
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		ELIP.	WGS84	Z 1927
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Al intemperismo: gris claro con tonos rojos. Al fresco: rosado con tonos marrones.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Feldespatos y micas.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Se encuentra en forma masiva y compacta.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba riolítica.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Posible zona de falla. Se encuentran muchos rodados rodados.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		16	CLAVE PTO		PVG-16-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Corregidora		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	La Poza		COORDENADAS UTM (GPS)		X 352084
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Ignimbrita Huimilpan		Y 2264906		
			ELIP.	WGS84	Z
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo claro.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Feldespatos, micas.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: ¿Depósitos de Ceniza?					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Gruesos en la base.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		17	CLAVE PTO		PVG-17-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	El Zorrillo		COORDENADAS UTM (GPS)		X 359135 Y 2263338
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		ELIP.	WGS84	Z 1985
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo claro.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: -----					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba lítica.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Alto grado de intemperismo a causa de la vegetación.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		18	CLAVE PTO		PVG-18-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Apapátaro		COORDENADAS UTM (GPS)		X 357260 Y 2262920
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		ELIP.	WGS84	Z 2020
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Rosa con tonos grisáceos.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Afanítica.					
4. MINERALOGÍA: -----					
5. OTRAS PROPIEDADES: Material muy consolidado.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: ¿Ignimbrita?					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Alto grado de intemperismo. Cerca hay un aljive y un pozo.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		19	CLAVE PTO		PVG-19-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Taponas		COORDENADAS UTM (GPS)		X 356133
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco		UTM (GPS)		Y 2256577
			ELIP.	WGS84	Z
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva.					
3. TEXTURA: Piroclástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Depósito de caída.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba y ceniza.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Banco de ceniza y toba. La ceniza presenta material anguloso.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	

FICHA DE PUNTO DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA No:		20	CLAVE PTO		PVG-20-HU
ESTADO	Querétaro		Mapa SGM		Querétaro, F14-10
MUNICIPIO	Huimilpan		Mapa INEGI		Apaseo El Alto, F14C75 La Estancia, F14C76
POBLADO	Los Bordos		COORDENADAS UTM (GPS)		X 362248
FORMACIÓN GEOLÓGICA REGIONAL (CLAVE)	Toba Amealco – Clásticos Continentales		Y 2260022		
			ELIP. WGS84	Z 2099	
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PUNTO GEOLÓGICO					
1. COLOR: Pardo claro a gris claro.					
2. GÉNESIS DE LA ROCA: Ígnea extrusiva- sedimentaria.					
3. TEXTURA: Piroclástica-clástica.					
4. MINERALOGÍA: Líticos, ceniza.					
5. OTRAS PROPIEDADES: Rodados redondeados a subangulosos.					
6. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE CAMPO: Toba - conglomerado petromictico.					
DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO (ubicación, grado de intemperismo, relaciones de contacto, etc.)					
Bajo grado de intemperismo, abundante vegetación. Contacto concordante.					
FOTOGRAFÍAS DEL AFLORAMIENTO					
					
FECHA	17-Diciembre-2010		VERIFICÓ	Mariana Aurora Germán Sánchez	



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Anexo B

Censo de Aprovechamientos

Clave Aprovechamiento	Clave Anterior	Municipio	Localidad	Nombre-Predio	Nombre de aprovechamiento	Fecha de visita	Tipo	Diám. Columna Succión (cm)	Diám. Columna Descarga (cm)	Diám. Ademe (m)	Condición	Uso	Caudal (l/s) 2010
P0004HU	HUI004	CORREGIDORA	ARROYO HONDO	BACHOCO	BACHOCO	01/12/2010	POZO	5.08	5.08	0.3556	ACTIVO	PECUARIO	3
P0005HU	HUI005	CORREGIDORA	ARROYO HONDO	RANCHO LA CRUZ	RANCHO LA CRUZ	25/11/2010	POZO		10.16		INACTIVO		
P0006HU	HUI006	HUIMILPAN	OBRASUELOS	PURÍSIMA DE SAN RAFAEL	OBRASUELOS	24/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.2540	ACTIVO	PUBLICO URBANO	
P0007HU	HUI007	HUIMILPAN	SAN ANTONIO DEL PUENTE	RANCHO LA SOLEDAD	RANCHO LA SOLEDAD	24/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.254	ACTIVO	MÚLTIPLE	4
P0008HU	HUI008	HUIMILPAN	ARROYO HONDO	RANCHO LOS BETOS	LOS BETOS	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	36
P0009HU	HUI009	HUIMILPAN	EL MILAGRO	RANCHO EL MILAGRO	POZO 1	24/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	35
P0010HU	HUI010	HUIMILPAN	EL MILAGRO	EJIDO EL MILAGRO	EJIDO EL MILAGRO	24/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	65
P0011HU	HUI011	HUIMILPAN	LA NORIA	EL MILAGRO	LA NORIA	24/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	
P0012HU	HUI012	HUIMILPAN	EL MILAGRO	EJIDO EL MILAGRO	EJIDO EL MILAGRO	24/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.3048	ACTIVO		35.5
P0013HU	HUI013	HUIMILPAN	APAPATARO	APAPATARO EL VEGIL	APAPATARO	24/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048			
P0014HU	HUI014	HUIMILPAN	GRANJERO	EJIDO GRANJERO	EJIDO GRANJERO	24/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	34
P0015HU	HUI015	HUIMILPAN	LA CUESTA	GRANJA LA CRUZ DE MAYO	GRANJA LA CRUZ DE MAYO	27/11/2010	POZO	7.62	7.62		ACTIVO	PECUARIO	10
P0016HU	HUI016	HUIMILPAN	LA CUESTA	RANCHO EL SALTO	RANCHO EL SALTO	27/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.3556	ACTIVO	AGRÍCOLA	46
P0017HU	HUI017	HUIMILPAN	LA CUESTA	RANCHO EL SID	RANCHO EL SID	27/11/2010	POZO	10.1	10.1	0.5066	ACTIVO	AGRÍCOLA	
P0018HU	HUI018	HUIMILPAN	HUIMIL	HUIMILPAN	HUMILPAN 1	24/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	PUBLICO URBANO	
P0019HU	HUI019	HUIMILPAN	HUIMILPAN	EL SALTO	HUIMILPAN 2	24/11/2010	POZO	10.16	10.1	0.3048	ACTIVO	PUBLICO URBANO	
P0020HU	HUI020	HUIMILPAN	EL PATOL	RANCHO EL PATOL	RANCHO EL PATOL	25/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	34
P0021HU	HUI021	CORREGIDORA	CORREGIDORA	RANCHO LA TINAJA	RANCHO LA TINAJA	30/11/2010	POZO	2.54	2.54	0.3556	INACTIVO	AGRÍCOLA	
P0022HU	HUI022	CORREGIDORA	CORREGIDORA	RANCHO LA TINAJA	RANCHO LA TINAJA	30/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	INACTIVO	AGRÍCOLA	
P0023HU	HUI023	CORREGIDORA	CORREGIDORA	RANCHO EL CANTARITO	RANCHO EL CANTARITO	30/11/2020	POZO				INACTIVO		
P0024HU	HUI024	CORREGIDORA	HACIENDA SAN ISIDRO	HACIENDA SAN ISIDRO	HACIENDA SAN ISIDRO	27/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.3048	INACTIVO		
P0025HU	HUI025	HUIMILPAN	SAN PEDRO	SAN PEDRO	SAN PEDRO	01/12/2010	POZO	7.62	7.62	0.3048	ACTIVO	PÚBLICO URBANO	9
P0026HU	HUI026	HUIMILPAN	EL FRESNO	EL FRESNO	EL FRESNO	27/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.254	ACTIVO	PUBLICO URBANO	8.7
P0027HU	HUI027	CORREGIDORA	CHARCO BLANCO	CHARCO BLANCO	CHARCO BLANCO	30/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.254	ACTIVO	PUBLICO URBANO	9
P0028HU	HUI028	HUIMILPAN	LA NORIA	EL CIMATARIO	EL CIMATARIO 3	27/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO	PUBLICO URBANO	
P0031HU	HUI031	HUIMILPAN	EL MILAGRO	RANCHO EL PALIACATE	RANCHO EL PALIACATE	26/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	26
P0032HU	HUI032	HUIMILPAN	APAPATARO	EJIDO APAPATARO	EL APAPATARO	23/11/2010	POZO	15.24	15.24		ACTIVO	AGRÍCOLA	30
P0033HU	HUI033	HUIMILPAN	EL PATOL	RANCHO EL PATOL	EL PATOL	25/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	35
P0034HU	HUI034	HUIMILPAN	APAPATARO	RANCHO LOS BETOS	BETOS	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	37
P0035HU	HUI035	HUIMILPAN	APAPATARO	RANCHO LOS BETOS	SANTA MARÍA	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	37.5
P0036HU	HUI036	HUIMILPAN	APAPATARO	EXHACIENDA APAPATARO	SALA	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	35.9
P0037HU	HUI037	HUIMILPAN	APAPATARO	EXHACIENDA APAPATARO	EL PIVOTE	13/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	34
P0038HU	HUI038	HUIMILPAN	APAPATARO	EXHACIENDA APAPATARO	EL LINDERO	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	35
P0039HU	HUI039	HUIMILPAN	APAPATARO	EXHACIENDA APAPATARO	PIVOTE REMO	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	35
P0040HU	HUI040	HUIMILPAN	APAPATARO	EXHACIENDA APAPATARO	CARRANZA	23/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	36
P0041HU	HUI041	HUIMILPAN	CARRANZA	SANTA NATALIA	SANTA NATALIA	26/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.3048	ACTIVO	PECUARIO	
P0042HU	HUI042	HUIMILPAN	CARRANZA	RANCHO LOS PANCHOS	LOS PANCHOS	23/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO		15
P0043HU	HUI043	HUIMILPAN	GRANJA SAN JUDAS	KM 8	GRANJA SAN JUDAS	25/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.3556	INACTIVO		
P0044HU	HUI044	HUIMILPAN	ARROYO HONDA	RANCHO LAS TRES MARIAS	RANCHO LAS TRES MARIAS	25/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	17
P0045HU	HUI045	HUIMILPAN	EL MILAGRO	RANCHO EL MILAGRO	POZO N°3	26/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	34
P0046HU	HUI046	HUIMILPAN	EL MILAGRO	RANCHO EL MILAGRO	POZO N°4	26/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	35
P0047HU	HUI047	HUIMILPAN	EL MILAGRO	RANCHO EL MILAGRO	EL MILAGRO #1	26/11/2010	POZO	20.32	20.32	30.48	ACTIVO	AGRÍCOLA	50
P0048HU	HUI048	HUIMILPAN	OBRAJUELO	EL MIRADOR	EL MIRADOR	15/11/2010	POZO	5.08	5.08	0.254	ACTIVO	AGRÍCOLA	2
P0049HU	HUI049	HUIMILPAN		RANCHO LA GRILLA	LA GRILLA	25/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.254	ACTIVO	AGRÍCOLA	16
P0050HU	HUI050	HUIMILPAN	APAPATARO	RANCHO CAÑADA LA VIRGEN	RANCHO CAÑADA LA VIRGEN	25/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.254	ACTIVO	AGRÍCOLA	17

Clave Aprovechamiento	Clave Anterior	Municipio	Localidad	Nombre-Predio	Nombre de aprovechamiento	Fecha de visita	Tipo	Diám. Columna Succión (cm)	Diám. Columna Descarga (cm)	Diám. Ademe (m)	Condición	Uso	Caudal (l/s) 2010
P0051HU	HUI051	CORREGIDORA	PURISIMA SAN RAFAEL	PURISIMA DE SAN RAFAEL	POZO 3	30/11/2010	POZO	20.32	30.32	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	42
P0052HU	HUI052	CORREGIDORA	PURÍSIMA DE SAN RAFAEL	PURÍSIMA DE SAN RAFAEL	POZO 2	30/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRÍCOLA	32
P0053HU	HUI053	CORREGIDORA	EJIDO SAN RAFAEL	EJIDO SAN RAFAEL	EJIDO SAN RAFAEL POZO 1 CORREGIDORA.	29/11/2020	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	27
P0054HU	HUI054	CORREGIDORA	EJIDO SAN RAFAEL	EJIDO SAN RAFAEL	EJIDO SAN RAFAEL	29/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3556	ACTIVO	AGRICOLA	
P0055HU	HUI055	HUIMILPAN	EX HACIENDA SAN RAFAEL	EJIDO SAN RAFAEL	EX HACIENDA SAN RAFAEL	29/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	INACTIVO		
P0056HU	HUI056	HUIMILPAN	PANIAGUA	PANIAGUA	PANIAGUA	29/11/2010	POZO	5.08	3.19	0.3048	ACTIVO	PECUARIO	2
P0057HU	HUI057	HUIMILPAN	EL VEGIL	EX HACIENDA EL VEGIL	EX HACIENDA EL VEGIL	29/11/2010	POZO	7.62	7.62	0.3048	INACTIVO		
P0058HU	HUI058	HUIMILPAN	EL VEGIL	EX HACIENDA EL VEGIL	EX HACIENDA EL VEGIL	29/11/2010	POZO			0.3048	INACTIVO		
P0059HU	HUI059	HUIMILPAN	EL SALTO	RANCHO EL SALTO	RANCHO EL SALTO	29/11/2010	NORIA			300X250	INACTIVO	PECUARIO	
P0061HU	HUI061	HUIMILPAN	OBRAJUELO	RANCHO EL OBRAJUELO	RANCHO EL OBRAJUELITO	25/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	20
P0062HU	HUI062	HUIMILPAN	APATATARO	RANCHO LA SOLEDAD	RANCHO LA SOLEDAD	24/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.3556	ACTIVO	AGRICOLA	45
P0063HU		HUIMILPAN	LA TINAJA	RANCHO LA TINAJA		02/12/2010	POZO	20.32	20.32	35.56	INACTIVO		
P0064HU		HUIMILPAN	LA TINAJA	RANCHO LA TINAJA		02/12/2010	POZO	20.32	10.16	30.48	ACTIVO	AGRÍCOLA	36
P0068HU	HUI068	HUIMILPAN	ARROYO HONDO	RANCHO EL HUNGARO	RANCHO EL HUNGARO	25/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	35
P0070HU	HUI070	HUIMILPAN	LA NORIA	RANCHO LA GALERA	LA GALERA	26/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.03048	ACTIVO	AGRICOLA	
P0071HU	HUI071	HUIMILPAN	LA NORIA	RANCHO SANTA TERESA	RANCHO SANTA TERESA	26/11/2010	POZO	7.62	7.62	-	ACTIVO	AGRICOLA	8
P0072HU	HUI072	HUIMILPAN	LA NORIA	RANCHO SANTA TERESA	RANCHO SANTA TERESA	16/11/2010	POZO	20.32	20.32	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	60
P0073HU	HUI073	HUIMILPAN	LA NORIA	RANCHO EL RISCAL	EL RISCAL	26/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	35
P0074HU	HUI074	HUIMILPAN	LOCALIDAD	FRACCIONAMIENTO EL RISCAL	FRACC EL RISCAL.	26/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	16
P0075HU	HUI075	HUIMILPAN	LA NORIA	RANCHO EL SABINO	POZO EL SABINO	27/11/2010	POZO			0.1524	INACTIVO	AGRICOLA	
P0076HU	HUI076	CORREGIDORA	ARROYO HONDO	RANCHO LA BORRASDA	RANCHO LA BORRASDA	01/12/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	33
P0078HU	HUI078	HUIMILPAN	NEVERIAS	PALO HUECO	PALO HUECO	01/12/2010	NORIA				INACTIVO		
P0079HU	HUI079	HUIMILPAN	NEVERIAS	RANCHO EL GANCIOSO	EL GANCIOSO (LOS ROBLES)	01/12/2010	POZO	10.16	10.16		ACTIVO	AGRICOLA	10
P0081HU	HUI081	CORREGIDORA	ARROYO HONDO	RNACHO EL ÁLAMO	RANCHO EL ÁLAMO	01/12/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	
P0082HU	HUI082	HUIMILPAN	APATATARO	RANCHO LA RANA		25/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	20
P0083HU		HUIMILPAN	EL SAUZ	EL SAUZ	EL SAUZ	24/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	15
P0084HU		HUIMILPAN	LA CUESTA	RANCHO LA CASCADA	RANCHO LA CASCADA	27/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.254	ACTIVO	AGRICOLA	17
P0085HU	QRO250	HUIMILPAN	RANCHO LAS TORCAS	RANCHO LAS TORCAS	RANCHO LAS TORCAS	28/11/2010	POZO	15.2	15.2		ACTIVO		32.25
P0086HU		HUIMILPAN	LA PRESITA	EL ZORRILLO		28/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	
P0087HU		HUIMILPAN	LA CUESTA	RANCHO DE NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN	RANCHO DE NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN	29/11/2010	POZO	7.622	7.62	0.2032	ACTIVO	AGRICOLA	9
P0088HU		HUIMILPAN	EL VEGIL	GOBIERNO DEL ESTADO	BIVERO EL VEGIL	29/11/2010	POZO	10.16	10.16	0.3048	ACTIVO	AGRICOLA	16
P0089HU		CORREGIDORA	LA POZA	LA POZA	POZO SAN RAFAEL	30/11/2010	POZO	15.24	15.24	0.3048	ACTIVO	PUBLICO URBANO	16
P0090HU	QRO253	CORREGIDORA	PROGRESO	VISTA REAL	VISTA REAL	01/12/2010	POZO	10.16	7.62	0.3048	ACTIVO	PUBLICO URBANO	
P0091HU	QRO251	CORREGIDORA	SAN FRANCISCO	EX HACIENDA SAN FRANCISCO	EL CERRITO	01/12/2010	POZO	15.24	15.24	0.3556	ACTIVO	AGRICOLA	35

Clave Aprovechamiento	Marca Medidor Agua	Lectura Vol. m³ 2010	Medidor serie	Medidor CFE	No. Medidor	Lectura (kw/h)	Lectura kVAR	Tipo de motor	Tipo de bomba	HP	RPM	Tipo de descarga	Datum	Grad. LAT	Min. LAT	Seg. LAT	Grad. LON	Min. LON	Seg. LON	LAT	LON	X UTM	Y UTM	ALTITUD GPS (msnm)
P0004HU	CROMETER	966461	9612103					ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	29	47.16	100	22	59.70	20.4964	-100.3833	355753.1851	2267027.9311	1915
P0005HU	NO			SI	OX4T85								WGS84	20	29	23.64	100	23	0.90	20.4899	-100.3836	355712.3045	2266305.0455	1961
P0006HU	BADGER METER	118180	5089813	SI	OL31H6	88116	229465	ELÉCTRICO				TUBERÍA	WGS84	20	28	38.70	100	23	42.72	20.4774	-100.3952	354488.8961	2264933.5390	1988
P0007HU	MCCROMETA	32898		NO				ELÉCTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	28	41.10	100	23	22.50	20.4781	-100.3896	355075.3950	2265002.3510	1951
P0008HU	HIDRONICA	666630.5	314428	SI	3LOF41	35453	37993	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	29	7.80	100	22	40.20	20.4855	-100.3778	356307.9341	2265812.9476	1969
P0009HU	MCCROMETA	24884		SI	7L75KO	14390	6909	ELÉCTRICO	VERTICAL	125	1750	TUBERÍA	WGS84	20	28	45.18	100	21	5.82	20.4792	-100.3516	359036.6761	2265094.6497	2005
P0010HU	ENDRESS + HAUSER EH		A1014016000	SI	4P3H35	3181	6522	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	29	0.72	100	20	33.84	20.4835	-100.3427	359967.1883	2265564.8342	2017
P0011HU	BADGER METER		10056	SI	3X6W33	614	5618	ELÉCTRICO				TUBERÍA	WGS84	20	29	26.22	100	20	51.84	20.4906	-100.3477	359452.1245	2266353.1699	1993
P0012HU	HIDRONICA		317116	SI	Y113L2	172410	55581	ELÉCTRICO	VERTICAL			TUBERÍA	WGS84	20	29	17.40	100	20	41.40	20.4882	-100.3448	359752.3637	2266079.4927	1992
P0013HU													WGS84	20	26	58.74	100	21	48.84	20.4497	-100.3636	357762.9675	2261832.2594	2013
P0014HU	RICELAND	887715	600858	SI	7L64K9	1655	2137	ELÉCTRICO				TUBERÍA	WGS84	20	25	49.14	100	19	22.86	20.4303	-100.3230	361976.1601	2259657.6321	2114
P0015HU	TURBO BAR		mar-35	SI	4P4G66	19124	18126	ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	25	19.38	100	17	55.38	20.4221	-100.2987	364504.3540	2258722.3670	2144
P0016HU	NO			SI	4X9U41	455	6970	ELECTRICO	VERTICAL	125	1800	TUBERIA	WGS84	20	25	12.48	100	17	40.86	20.4201	-100.2947	364923.5350	2258506.8933	2129
P0017HU	RICELAND	30557	04-0345	SI	3X7W60	3348	171.2	ELECTRICO	VERTICAL	75	1800		WGS84	20	17	44.16	100	21	8.16	20.2956	-100.3523	365414.7687	2258606.3407	2116
P0018HU				SI	7N346A	49103	95784	ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	22	57.78	100	16	28.98	20.3827	-100.2747	366974.8295	2254349.0929	2276
P0019HU	BADGER METER	101180	SIN	SI	9A3M15	46222	48402	ELECTRICO	SUMERGIBLE			LLIBRE	WGS84	20	23	8.80	100	16	40.90	20.3858	-100.2780	366631.8822	2254690.5963	2277
P0020HU	HMEINECKE	5954567	111602	SI	2P4J96	66142	14388	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	28.20	100	22	34.44	20.4745	-100.3762	356464.5853	2264593.9499	1961
P0021HU	NO			NO				PAPALOTE				LIBRE	WGS84	20	27	14.40	100	25	9.84	20.4540	-100.4194	351942.1335	2262363.2033	2088
P0022HU	NO			SI	7P7297			ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	27	23.76	100	25	44.94	20.4566	-100.4292	350927.4586	2262659.8403	2094
P0023HU													WGS84	20	26	58.68	100	25	29.58	20.4496	-100.4249	351365.8754	2261884.8123	2102
P0024HU	NO			NO								LIBRE	WGS84	20	23	8.04	100	25	35.46	20.3856	-100.4265	351133.8617	2254794.6655	2163
P0025HU	HIDRONICA	71874	310218	SI	2L22F6	40743	28315	ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	29	12.36	100	23	11.76	20.4868	-100.3866	365282.4380	2247274.2736	2395
P0026HU	NDRESS+HAUSER		CM005D1600	SI	0X4T68	90933	27106	ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	27	8.10	100	18	50.70	20.4523	-100.3141	362927.7056	2262077.8938	2052
P0027HU	BADGER METER		S/N	SI	0L9847	45139	60275	ELECTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	25	46.68	100	28	15.84	20.4296	-100.4711	346527.6971	2259713.4991	2062
P0028HU	HIDRONICA	213210.6	314309	SI	9X7W37	4992	2461	ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	30	47.16	100	21	45.00	20.5131	-100.3625	357932.7001	2268854.6063	2117
P0031HU	HIDRONICA			SI	3X6W47	2448	5476	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	6.48	100	21	5.34	20.4685	-100.3515	359040.7644	2263904.6240	1977
P0032HU	RICELAND	2251392	9G113286	SI	3X5V66			ELÉCTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	26	48.30	100	22	4.86	20.4468	-100.3680	357296.0318	2261515.1267	2002
P0033HU	RICELAND		06-0262	SI	3FA402	13	19	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	19.44	100	22	55.92	20.4721	-100.3822	355839.9220	2264329.8448	1959
P0034HU	HIDRONICA	171768.9	316914	SI	2L49M5	8056	5382	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	29	3.54	100	22	4.98	20.4843	-100.3681	357327.2757	2265673.4051	1997
P0035HU	HIDRONICA	866846.6	314465	SI	8P1L00	15181	17643	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	40.70	100	22	20.20	20.4780	-100.3723	356845.6167	2265040.9238	1969
P0036HU	HIDRONICA	563282.5	315102	SI	8POL85	7484	13791	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	15.70	100	22	3.10	20.4710	-100.3675	357369.4609	2264202.0029	
P0037HU	HIDRONICA	767479.7	314755	SI	8POL86			ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	18.90	100	21	46.20	20.4719	-100.3628	357859.9716	2264296.3124	1993
P0038HU	HIDRONICA	671815	314703	SI	8P4L23	7900	12340	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	28	31.68	100	21	54.96	20.4755	-100.3653	357609.4203	2264691.3753	1985
P0039HU	HIDRONICA	58875.3	313579	SI				ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	27	42.90	100	22	31.62	20.4619	-100.3755	356534.6008	2263200.4123	1980
P0040HU	HIDRONICA	915902.8	313519	SI	8POL67	1006	3038	ELÉCTRICO				TUBERÍA	WGS84	20	27	29.76	100	21	53.76	20.4583	-100.3649	357628.3282	2262787.2213	2003
P0041HU	RICELAND		40514	SI	4P6697	63526	15262	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	27	36.36	100	21	0.30	20.4601	-100.3501	359179.1736	2262977.3199	2019
P0042HU	HIDRONICA	48299.8	MP S/N	SI	4X3V03	7168	5087	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	27	45.60	100	20	52.70	20.4627	-100.3480	359366.3562	2263326.3182	1989
P0043HU	NO			NO									WGS84	20	28	47.28	100	22	35.94	20.4798	-100.3767	356426.0544	2265180.9739	1954
P0044HU	JM GEYSER	290003	4-0591	SI	118660	43148	41583	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	29	16.26	100	22	53.58	20.4879	-100.3816	355922.4674	2266076.3381	1961
P0045HU	MC CROMETER	166126	04-07198-6	SI	5X7V85	16324	5009	ELECTRICO	VERTICAL	100	1800	TUBERIA	WGS84	20	28	48.42	100	21	21.66	20.4801	-100.3560	358578.5496	2265198.0652	2016
P0046HU	MC CROMETER		01-07765	SI	5X7VC1	11865	7476	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	28	43.86	100	21	37.92	20.4789	-100.3605	358106.2659	2265061.7666	2013
P0047HU	MC CROMETER	449610	-	SI	9X1W91	11153	7186	ELECTRICO	VERTICAL			TUBERIA	WGS84	20	28	23.04	100	21	27.72	20.4731	-100.3577	358396.4967	2264419.1583	1982
P0048HU	HIDRONICA	32953.3		SI	L24029	4316		ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	29	5.52	100	23	6.00	20.4849	-100.3850	355559.8302	2265749.1521	1942
P0049HU	HIDRONICA		200093	SI	7N354A		66933	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	29	12.48	100	23	18.12	20.4868	-100.3884	355210.4871	2265966.1292	1929
P0050HU	JM GEYSER	90720	04-1177	SI	0L44H4	73419	44331	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	28	57.60	100	23	5.52	20.4827	-100.3849	355571.6773	2265505.5149	1948

Clave Aprovechamiento	Marca Medidor Agua	Lectura Vol. m ³ 2010	Medidor serie	Medidor CFE	No. Medidor	Lectura (kw/h)	Lectura kVAR	Tipo de motor	Tipo de bomba	HP	RPM	Tipo de descarga	Datum	Grad. LAT	Min. LAT	Seg. LAT	Grad. LON	Min. LON	Seg. LON	LAT	LON	X UTM	Y UTM	ALTITUD GPS (msnm)
P0051HU	JM GEYSER	138242	08-1079	SI	3L85L3	7894	4298					TUBERIA	WGS84	20	27	59.82	100	23	40.14	20.4666	-100.3945	354553.4732	2263737.4407	2011
P0052HU	JM GEYSER	21317	06-1685	SI	3X5W81	823	1928	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	27	23.04	100	23	38.82	20.4564	-100.3941	354582.1016	2262606.2247	2021
P0053HU	HIDRONICA	914830.2	31581	SI	3L68M9	3251	2445	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	26	40.86	100	23	21.66	20.4447	-100.3894	355068.3883	2261305.0793	2021
P0054HU	JM GEYSER			SI	3X6W46	1494	5274	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	26	45.00	100	24	14.10	20.4458	-100.4039	353549.7095	2261445.3166	2025
P0055HU	NO			NO								LIBRE	WGS84	20	26	55.80	100	24	6.42	20.4488	-100.4018	353775.1219	2261775.4851	2005
P0056HU	RICELAND	2125	10201020	NO				ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	27	4.08	100	19	35.04	20.4511	-100.3264	361641.7778	2261964.6396	2062
P0057HU	RICELAND		300692	NO				ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	25	51.00	100	21	12.24	20.4308	-100.3534	358806.4437	2259740.6723	2043
P0058HU	NO			NO									WGS84	20	25	54.42	100	21	35.52	20.4318	-100.3599	358132.5834	2259851.4049	2046
P0059HU	NO			NO				ELECTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	25	7.14	100	17	36.84	20.4187	-100.2936	365038.7603	2258341.7895	2130
P0061HU			04-0755-04-0685	SI	3M033F	19106	78707	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	29	12.36	100	23	11.76	20.4868	-100.3866	355394.7248	2265960.8774	1947
P0062HU	MC CROMETER		97-8-1007N	SI	4X0V12	4462	6796	ELECTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	28	28.14	100	23	18.78	20.4745	-100.3886	355179.8021	2264602.9500	1964
P0063HU	NO			NO									WGS84	20	27	51.90	100	24	47.60	20.4638	-100.4132	352596.0243	2263446.1002	1996
P0064HU	JM GEYSER			SI	9EY410	425	489	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	28	0.70	100	24	28.00	20.4669	-100.4078	353166.8657	2263776.3595	1982
P0068HU	HIDRONICA	520295.6	313714	SI	1L8691	81088	95253	ELECTRICO	VERTICAL	75	150	TUBERIA	WGS84	20	29	30.72	100	23	28.98	20.4919	-100.3914	354900.6072	2266529.6354	1952
P0070HU		602638		SI	3X9V43	SIN LUZ		ELECTRICO	VERTICAL	25	1771	TUBERIA	WGS84	20	30	30.18	100	21	10.86	20.5084	-100.3530	358917.3427	2268324.3050	1981
P0071HU	NO			SI	47RD94	8116	4090	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	30	9.36	100	20	40.62	20.5026	-100.3446	359788.0921	2267676.9242	1956
P0072HU	JM GEYSER	79753	08-0077	SI	3X9U42	4105	19274	ELECTRICO	SUMERGIBLE	150	1770	TUBERIA	WGS84	20	30	9.36	100	20	40.62	20.5026	-100.3446	359786.3236	2267673.2488	1958
P0073HU		3915824		SI	3L06F5	39369	70034	ELECTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	30	12.00	100	21	6.12	20.5033	-100.3517	359050.0340	2267764.1859	1954
P0074HU	RICELAND	3164	04-0623	SI	3X9U08			ELECTRICO	VERTICAL	60	1765	TUBERIA	WGS84	20	29	58.38	100	21	10.02	20.4996	-100.3528	358933.5887	2267346.3437	1967
P0075HU	NO			SI	4F66B8	32745	9927.1	NO	NO				WGS84	20	30	16.32	100	22	38.64	20.5045	-100.3774	356370.8690	2267919.3773	1968
P0076HU	BADGER METER	393160	5089896	SI	3X8U89	77063	27711	ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			TUBERÍA	WGS84	20	22	26.20	20	29	29.00	20.4914	-100.3739	356719.0316	2266461.3812	1960
P0078HU													WGS84	20	19	45.78	100	16	31.80	20.3294	-100.2755	366847.3521	2248446.5048	2363
P0079HU	MC CROMETER	32845	21-021400	NO				COMBUSTION	SUMERGIBLE				WGS84	20	18	44.64	100	15	43.50	20.3124	-100.2621	368233.7435	2246555.9337	2512
P0081HU				NO				ELÉCTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	29	10.62	100	22	19.86	20.4863	-100.3722	356897.9764	2265894.7045	1974
P0082HU	MC CROMETER	900367	SIN	SI	50RD03	40831	93483	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	28	55.44	100	22	44.22	20.4821	-100.3790	356188.2603	2265433.8911	1966
P0083HU	BADGER METER	437087	2000076	SI	5A3N61	27248	64786	ELECTRICO	SUMERGIBLE				WGS84	20	17	44.16	100	21	8.16	20.2956	-100.3523	358801.7399	2244770.9776	2481
P0084HU	JM GEYSER	90939		SI	5XOU39	28965	78338	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	25	26.40	100	17	23.16	20.4240	-100.2898	365439.9275	2258930.8440	2138
P0085HU	RICELAND	5657274		SI	1L81G4	21118	98849					TUBERIA	WGS84	20	29	56.64	100	23	32.40	20.4991	-100.3923	354808.3048	2267327.4540	1960
P0086HU	JM GEYSER	3434		SI	3L70M2			ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	27	27.54	100	19	38.76	20.4577	-100.3274	361539.8162	2262686.8310	2040
P0087HU	JM GEYSER	9237	30212	SI	3X9U36	62386	11641.3	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	25	24.30	100	18	6.84	20.4234	-100.3019	364173.3917	2258876.2702	2137
P0088HU	RICELAND	15943	04-0552	SI	8P4L40	1129	853	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	26	9.00	100	21	4.62	20.4358	-100.3513	359031.8541	2260292.2968	2033
P0089HU	NO		C9007716000	SI	0L79H7	55016	14680					LIBRE	WGS84	20	28	1.14	100	24	9.06	20.4670	-100.4025	353715.8061	2263785.1811	1973
P0090HU	JM GEYSER	93768		NO				ELECTRICO	SUMERGIBLE			LIBRE	WGS84	20	30	52.86	100	23	10.02	20.5147	-100.3861	355471.3245	2269050.5722	2021
P0091HU	RICELAND	90254		SI	6F34B6	2456.6	181.5	ELECTRICO	SUMERGIBLE			TUBERIA	WGS84	20	30	27.06	100	24	27.36	20.5075	-100.4076	353224.1140	2268276.4260	1995

Clave Aprovechamiento	Cota brocal (msnm)	Altura brocal (m)	PNE 1994 (m)	ENE 1994 (msnm)	PND 1994 (m)	PNE 2010 (m)	PND 2010 (m)	ENE 2010 (msnm)	ND 2010 (msnm)
P0004HU			22.38	1896.16		25.5		1889.50	
P0005HU			31.62						
P0006HU	1988.19	0.19				93.58		1894.61	
P0007HU						71.2		1879.80	
P0008HU	1969.00	0.00				73.62		1895.38	
P0009HU	2005.45	0.45		1986.259	100.47				
P0010HU	2017.50	0.50	64.77			91.4		1926.10	
P0011HU	1993.40	0.40							
P0012HU	1992.48	0.48	40.52	1948.301			58.4		1934.08
P0013HU				2007.45	106.63				
P0014HU	2114.15	0.15	81.11	2019.9				2114.15	
P0015HU	2144.00	0.00				73.3		2070.70	2144.00
P0016HU							91.93		2037.07
P0017HU	2116.15	0.15				50.66		2065.49	
P0018HU					126.79	152.08		2123.92	
P0019HU	2277.00	0.00		2270.51		147.37		2129.63	
P0020HU	1961.30	0.30	23.99	1900.32		52.42		1908.88	
P0021HU	2088.30	0.30				188.1		1900.20	
P0022HU	2094.57	0.57	179.93	1913.903		193.15		1901.42	
P0023HU									
P0024HU	2163.25	0.25						2163.25	
P0025HU	2395.60	0.60				84.48		2311.12	
P0026HU						112.65		1939.35	
P0027HU	2062.30	0.30							
P0028HU									
P0031HU	1977.20	0.20							
P0032HU	2002.85	0.85				106.59		1896.26	
P0033HU	1959.15	0.15	65.89	1899.25		52.83		1906.32	
P0034HU	1997.35	0.35				101.06		1896.29	
P0035HU	1969.00	0.00				65.7		1903.30	
P0036HU		0.15							
P0037HU	1993.15	0.15				96.18		1896.97	
P0038HU						94.19		1890.81	
P0039HU	1980.30	0.30				84.9		1895.40	
P0040HU	2003.63	0.63				109.6		1894.03	
P0041HU	2019.05	0.05					137.3		1881.75
P0042HU	1989.60	0.60				48.48		1941.12	
P0043HU	1954.10	0.10				56.46		1897.64	
P0044HU	1961.50	0.50					60.31		1901.19
P0045HU	2016.40	0.40				N.S.P.S			

Clave Aprovechamiento	Cota brocal (msnm)	Altura brocal (m)	PNE 1994 (m)	ENE 1994 (msnm)	PND 1994 (m)	PNE 2010 (m)	PND 2010 (m)	ENE 2010 (msnm)	ND 2010 (msnm)
P0046HU	2013.60	0.60						130.87	1882.73
P0047HU	1982.29	0.29						82.91	1899.38
P0048HU	1942.64	0.64						62.3	1880.34
P0049HU	1929.15	0.15						43	1886.15
P0050HU	1948.15	0.15				48.78		1899.37	
P0051HU	2011.55	0.55		1993.411	112.16			115.63	1895.92
P0052HU	2021.59	0.59							
P0053HU	2021.49	0.49				110.78		1910.71	
P0054HU									
P0055HU	2005.80	0.80				N.S.P.S			
P0056HU	2062.45	0.45				86.43		1976.02	
P0057HU	2043.30	0.30				124.38		1918.92	
P0058HU	2046.15	0.15				N.S.P.S			
P0059HU	2130.30	0.30				3.21		2127.09	
P0061HU	1947.20	0.20					48.56		1898.64
P0062HU	1964.15	0.15	55.45	1900.06		59.04		1905.11	
P0063HU	1996.50	0.50				73.84		1922.66	
P0064HU	1982.28	0.28							
P0068HU	1962.00	10.00				52.09		1909.91	
P0070HU	1981.00	0.00				N.S.P.S			
P0071HU	1956.15	0.15				36.12		1920.03	1956.15
P0072HU	1958.15	0.15				N.S.P.S			
P0073HU	1954.50	0.50				56.05		1898.45	1954.50
P0074HU	1967.40	0.40				63.63		1903.77	
P0075HU									
P0076HU	1960.07	0.07					76.11		1883.96
P0078HU						19.6		2343.40	
P0079HU	2512.10	0.10				N.S.P.S			
P0081HU									
P0082HU	1966.40	0.40				67.6		1898.80	
P0083HU						173.65		2307.35	
P0084HU	2138.60	0.60				22.2		2116.40	
P0085HU			65.89	1909.413			64		1896.00
P0086HU						115.91		1924.09	
P0087HU	2137.30	0.30				NSPS			
P0088HU	2033.15	0.15				NSPS			
P0089HU	1973.10	0.10							
P0090HU	2021.20	0.20				N.S.P.S			
P0091HU	1995.13	0.13				97.98		1897.15	



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

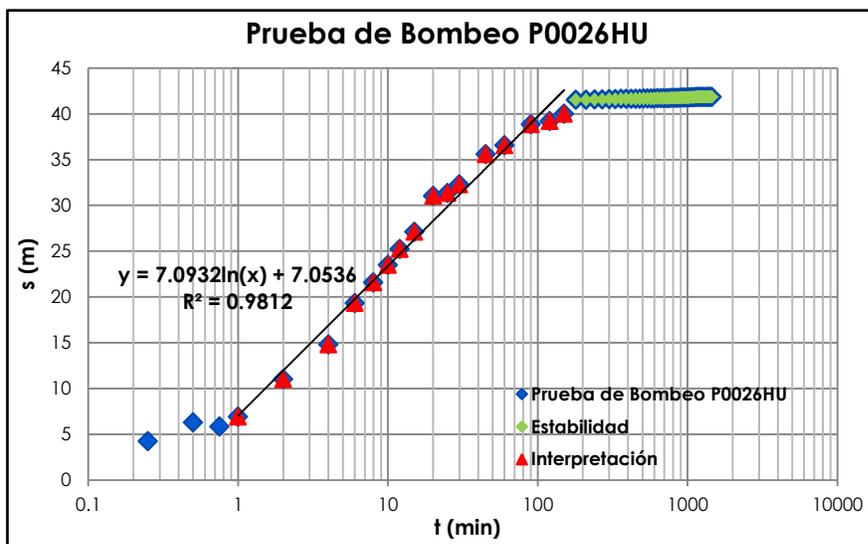
Anexo C

Pruebas de Bombeo

ETAPA DE ABATIMIENTO					
Pozo:	P0026HU	Tipo de Bomba	Sumergible	Coordenadas UTM:	X 362959
Localidad:	El Fresno	Diam. de descarga:	4"	Coordenadas UTM:	Y 2261875
Propietario:	CEA (Querétaro)	Diam. de succión:	4"	Coordenadas Geográficas:	N 20° 27' 05.9"
Profundidad:	187 m	Caudal (lps):	8.50 lps	Coordenadas Geográficas:	W 100° 18' 49.4"
Long. de columna:	170 m	Método de medición:	Medidor ultrasónico	Elevación:	2047 msnm
Fecha:	29/12/10	Hora inicio:	07:20 a.m.	Nivel estático:	113.55 m
Duración:	24 horas	Hora termino:	07: 20 a.m.	Nivel dinámico:	155.36 m
Lectura	† (min)	Profundidad (m)	Lectura	† (min)	Profundidad (m)
1	0.25	117.75	32	540	155.18
2	0.5	119.80	33	570	155.19
3	0.75	119.36	34	600	155.20
4	1	120.44	35	630	155.21
5	2	124.55	36	660	155.21
6	4	128.32	37	690	155.23
7	6	132.86	38	720	155.24
8	8	135.09	39	750	155.24
9	10	137.02	40	780	155.25
10	12	138.75	41	810	155.26
11	15	140.63	42	840	155.26
12	20	144.57	43	870	155.27
13	25	144.86	44	900	155.28
14	30	145.80	45	930	155.28
15	45	149.11	46	960	155.29
16	60	150.09	47	990	155.31
17	90	152.37	48	1020	155.31
18	120	152.73	49	1050	155.32
19	150	153.51	50	1080	155.34
20	180	155.04	51	1110	155.34
21	210	155.05	52	1140	155.35
22	240	155.07	53	1170	155.35
23	270	155.09	54	1200	155.35
24	300	155.11	55	1230	155.36
25	330	155.13	56	1260	155.36
26	360	155.14	57	1290	155.36
27	390	155.14	58	1330	155.36
28	420	155.16	59	1360	155.36
29	450	155.17	60	1390	155.36
30	480	155.17	61	1420	155.36
31	510	155.18	62	1450	155.36

Interpretación:

t (min)	s (m)	PND (m)	t (min)	s (m)	PND (m)	t (min)	s (m)	PND (m)
0.25	4.2	117.75	240	41.52	155.07	870	41.72	155.27
0.5	6.25	119.8	270	41.54	155.09	900	41.73	155.28
0.75	5.81	119.36	300	41.56	155.11	930	41.73	155.28
1	6.89	120.44	330	41.58	155.13	960	41.74	155.29
2	11	124.55	360	41.59	155.14	990	41.76	155.31
4	14.77	128.32	390	41.59	155.14	1020	41.76	155.31
6	19.31	132.86	420	41.61	155.16	1050	41.77	155.32
8	21.54	135.09	450	41.62	155.17	1080	41.79	155.34
10	23.47	137.02	480	41.62	155.17	1110	41.79	155.34
12	25.2	138.75	510	41.63	155.18	1140	41.8	155.35
15	27.08	140.63	540	41.63	155.18	1170	41.8	155.35
20	31.02	144.57	570	41.64	155.19	1200	41.8	155.35
25	31.31	144.86	600	41.65	155.2	1230	41.81	155.36
30	32.25	145.8	630	41.66	155.21	1260	41.81	155.36
45	35.56	149.11	660	41.66	155.21	1290	41.81	155.36
60	36.54	150.09	690	41.68	155.23	1330	41.81	155.36
90	38.82	152.37	720	41.69	155.24	1360	41.81	155.36
120	39.18	152.73	750	41.69	155.24	1390	41.81	155.36
150	39.96	153.51	780	41.7	155.25	1420	41.81	155.36
180	41.49	155.04	810	41.71	155.26	1450	41.81	155.36
210	41.5	155.05	840	41.71	155.26			



$$T = \frac{0.183Q}{2.3(\Delta s)_{10}}$$

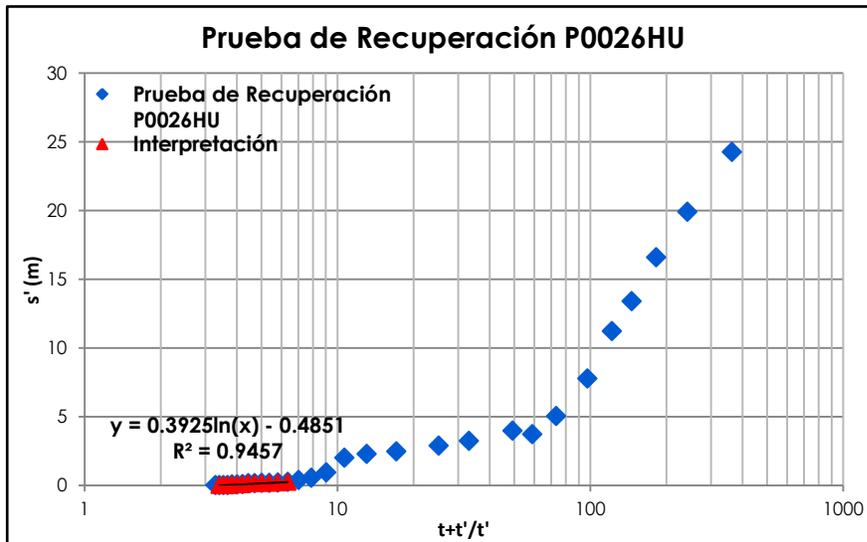
$$T = \frac{0.183(8.5 \text{ lps})}{2.3(7.0932)}$$

$$T = 8.2 \text{ m}^2/d$$

ETAPA DE RECUPERACIÓN					
Pozo:	P0026HU	Tipo de Bomba:	Sumergible	Coordenadas UTM:	X 362959
Localidad:	El Fresno	Diam. de descarga:	4"		Y 2261875
Propietario:	CEA (Querétaro)	Diam. de succión:	4"	Coordenadas Geográficas:	N 20° 27' 05.9"
Profundidad:	187 m	Caudal (lps):	8.50 lps		W 100° 18' 49.4"
Long. de columna:	170 m	Método de medición:	Medidor ultrasónico	Elevación:	2047 msnm
Fecha:	28/12/10	Hora inicio:	06:50 p.m.	Nivel dinámico:	155.36 m
Duración:	12 horas	Hora termino:	06:50 a.m.		
Lectura	Profundidad (m)	T (min)	Lectura	Profundidad (m)	T (min)
1	0.25	151.94	20	180	114.49
2	0.5	141.81	21	210	114.08
3	0.75	136.90	22	240	113.92
4	1	139.54	23	270	113.78
5	2	143.10	24	300	113.74
6	4	137.81	25	330	113.72
7	6	133.44	26	360	113.72
8	8	130.14	27	390	113.70
9	10	126.94	28	420	113.69
10	12	124.76	29	450	113.62
11	15	121.31	30	480	113.59
12	20	118.59	31	510	113.59
13	25	117.26	32	540	113.56
14	30	117.51	33	570	113.56
15	45	116.78	34	600	113.55
16	60	116.42	35	630	113.55
17	90	116.01	36	660	113.55
18	120	115.82	37	690	113.55
19	150	115.54	38	720	113.55

Interpretación:

s (m)	s' (m)	t+t'/t'	s (m)	s' (m)	t+t'/t'
17.55	24.26	363.5	41.28	0.53	7.9
21.92	19.89	242.7	41.44	0.37	7.04
25.22	16.59	182.3	41.58	0.23	6.37
28.42	13.39	146.0	41.62	0.19	5.83
30.6	11.21	121.8	41.64	0.17	5.39
34.05	7.76	97.7	41.64	0.17	5.03
36.77	5.04	73.5	41.66	0.15	4.72
38.1	3.71	59.0	41.67	0.14	4.45
37.85	3.96	49.3	41.74	0.07	4.22
38.58	3.23	33.2	41.77	0.04	4.02
38.94	2.87	25.2	41.77	0.04	3.84
39.35	2.46	17.1	41.80	0.01	3.69
39.54	2.27	13.1	41.80	0.01	3.54
39.82	1.99	10.7	41.81	0.00	3.42
40.87	0.94	9.1	41.81	0.00	3.30



$$T = \frac{0.183Q}{2.3(\Delta s)_{10}}$$

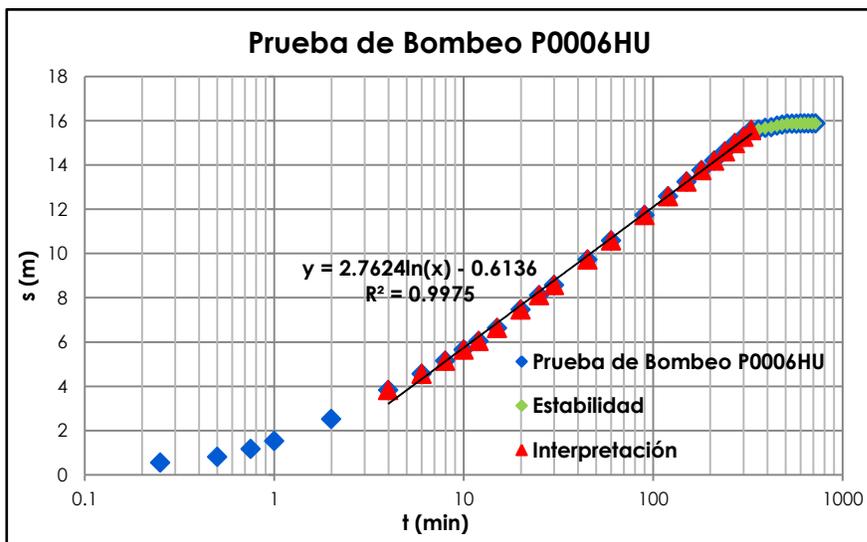
$$T = \frac{0.183(8.5 \text{ lps})}{2.3(0.39251)}$$

$$T = 150 \text{ m}^2/\text{d}$$

ETAPA DE ABATIMIENTO					
Pozo:	P0006HU	Tipo de Bomba:	Sumergible	Coordenadas UTM	X 354517
Localidad:	La Purísima de San Rafael	Diam. de descarga:	3"		Y 2264732
Propietario:	CEA de Corregidora	Diam. de succión:	3"	Coordenadas Geográficas	N 20° 28 36.5"
Profundidad:	Se desconoce	Caudal (lps):	5.42		W 100° 23 41.7"
Long. columna:	Se desconoce	Método de medición:	Medidor de flujo	Elevación	2004 msnm
Fecha:	08/01/11	Hora inicio:	02:00 p.m.	Nivel estático:	91.87 m
Duración:	12 horas	Hora termino:	02:00 a.m.	Nivel dinámico	107.74 m
Lectura	† (min)	Profundidad (m)	Lectura	† (min)	Profundidad (m)
1	0.25	92.42	20	180	105.64
2	0.5	92.68	21	210	106.07
3	0.75	93.04	22	240	106.48
4	1	93.40	23	270	106.86
5	2	94.39	24	300	107.14
6	4	95.70	25	330	107.44
7	6	96.43	26	360	107.48
8	8	97.02	27	390	107.54
9	10	97.53	28	420	107.57
10	12	97.92	29	450	107.64
11	15	98.51	30	480	107.69
12	20	99.34	31	510	107.73
13	25	99.99	32	540	107.73
14	30	100.44	33	570	107.73
15	45	101.59	34	600	107.74
16	60	102.46	35	630	107.74
17	90	103.60	36	660	107.74
18	120	104.46	37	690	107.74
19	150	105.12	38	720	107.74

Interpretación:

t (min)	s (m)	PND (m)	t (min)	s (m)	PND (m)
0.25	0.55	92.42	180	13.77	105.64
0.5	0.81	92.68	210	14.20	106.07
0.75	1.17	93.04	240	14.61	106.48
1	1.53	93.40	270	14.99	106.86
2	2.52	94.39	300	15.27	107.14
4	3.83	95.70	330	15.57	107.44
6	4.56	96.43	360	15.61	107.48
8	5.15	97.02	390	15.67	107.54
10	5.66	97.53	420	15.70	107.57
12	6.05	97.92	450	15.77	107.64
15	6.64	98.51	480	15.82	107.69
20	7.47	99.34	510	15.86	107.73
25	8.12	99.99	540	15.86	107.73
30	8.57	100.44	570	15.86	107.73
45	9.72	101.59	600	15.87	107.74
60	10.59	102.46	630	15.87	107.74
90	11.73	103.60	660	15.87	107.74
120	12.59	104.46	690	15.87	107.74
150	13.25	105.12	720	15.87	107.74



$$T = \frac{0.183Q}{2.3(\Delta s)_{10}}$$

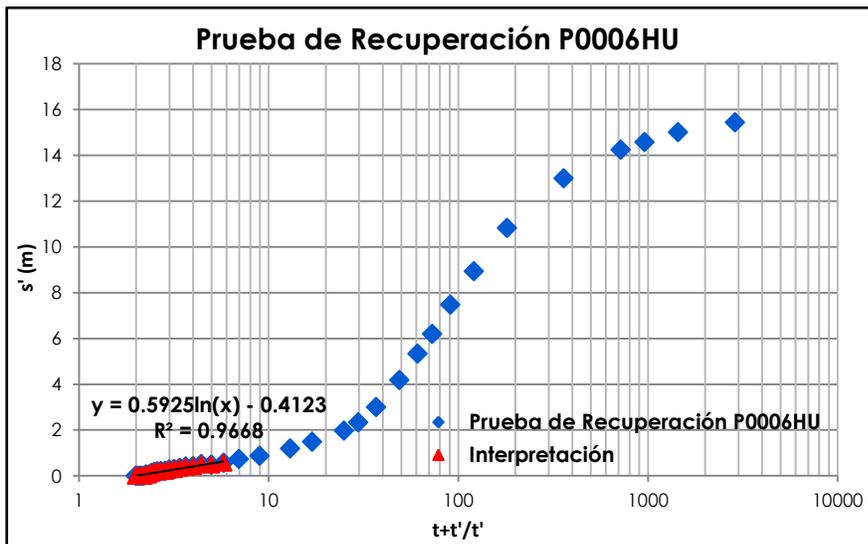
$$T = \frac{0.183(5.42 \text{ lps})}{2.3(2.7624)}$$

$$T = 13.49 \text{ m}^2/d$$

ETAPA DE RECUPERACIÓN					
Pozo:	P0006HU	Tipo de Bomba:	Sumergible	Coordenadas UTM:	X 354517
Localidad:	La Purísima de San Rafael	Diam. de descarga:	3"		Y 2264732
Propietario:	CEA de Corregidora	Diam. de succión:	3"	Coordenadas Geográficas:	N 20° 28 36.5"
Profundidad:	Se desconoce	Caudal (lps):	5.42		W 100° 23 41.7"
Long. columna:	Se desconoce	Método de medición:	Medidor de flujo	Elevación:	2004 msnm
Fecha:	09/01/11	Hora inicio:	02:00 a.m.	Nivel dinámico:	107.74 m
Duración:	12 horas	Hora termino:	02:00 p.m.		
Lectura	Profundidad (m)	T (min)	Lectura	Profundidad (m)	T (min)
1	0.25	107.30	20	180	92.36
2	0.5	106.88	21	210	92.38
3	0.75	106.44	22	240	92.28
4	1	106.11	23	270	92.27
5	2	104.86	24	300	92.21
6	4	102.70	25	330	92.16
7	6	100.80	26	360	92.14
8	8	99.35	27	390	92.08
9	10	98.07	28	420	92.08
10	12	97.20	29	450	92.06
11	15	96.05	30	480	92.04
12	20	94.87	31	510	92.00
13	25	94.20	32	540	91.93
14	30	93.84	33	570	91.92
15	45	93.35	34	600	91.87
16	60	93.07	35	630	91.87
17	90	92.74	36	660	91.87
18	120	92.60	37	690	91.87
19	150	92.44	38	720	91.87

Interpretación:

s (m)	s' (m)	t+t'/t'	s (m)	s' (m)	t+t'/t'
0.44	15.43	2881	15.38	0.49	5.0
0.86	15.01	1441	15.36	0.51	4.4
1.30	14.57	961	15.46	0.41	4.0
1.63	14.24	721	15.47	0.40	3.7
2.88	12.99	361	15.53	0.34	3.4
5.04	10.83	181	15.58	0.29	3.2
6.94	8.93	121	15.60	0.27	3.0
8.39	7.48	91	15.66	0.21	2.8
9.67	6.20	73	15.66	0.21	2.7
10.54	5.33	61	15.68	0.19	2.6
11.69	4.18	49	15.70	0.17	2.5
12.87	3.00	37	15.74	0.13	2.4
13.54	2.33	29.8	15.81	0.06	2.3
13.90	1.97	25	15.82	0.05	2.3
14.39	1.48	17	15.87	0.00	2.2
14.67	1.20	13.0	15.87	0.00	2.1
15.00	0.87	9.0	15.87	0.00	2.1
15.14	0.73	7.0	15.87	0.00	2
15.30	0.57	5.8	15.87	0.00	2



$$T = \frac{0.183Q}{2.3(\Delta s)_{10}}$$

$$T = \frac{0.183(5.42 \text{ lps})}{2.3(0.5925)}$$

$$T = 62.89 \text{ m}^2/d$$

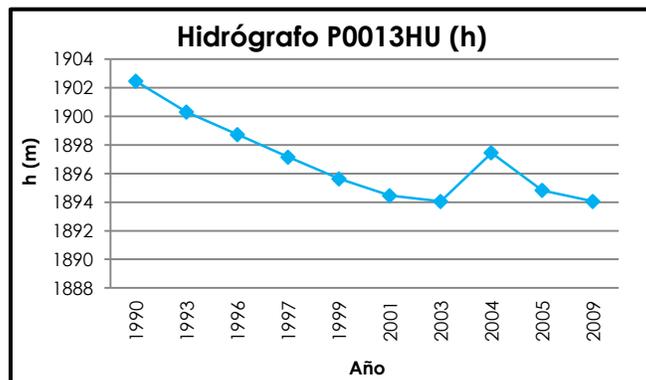
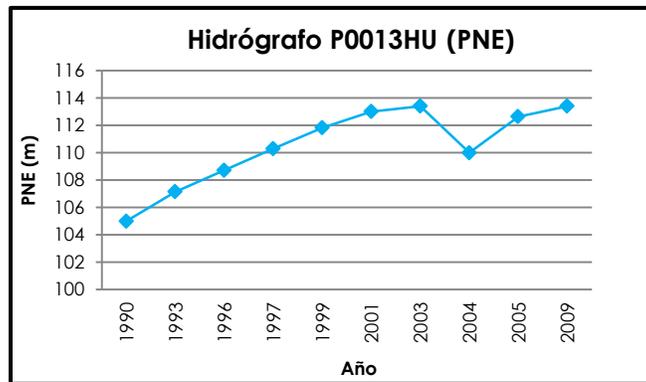


UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

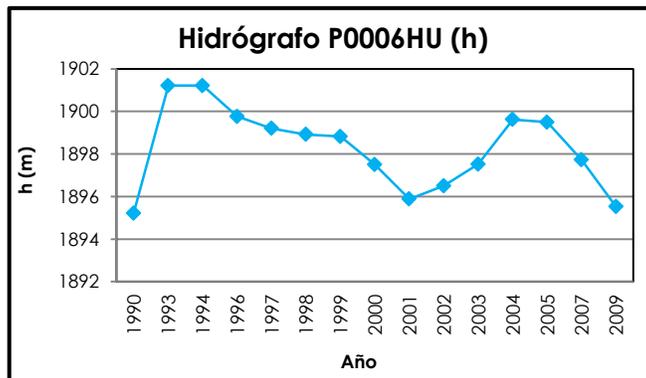
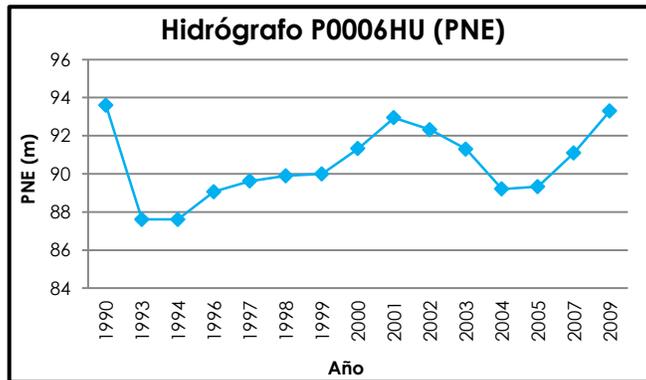
Anexo D

Hidrógrafos

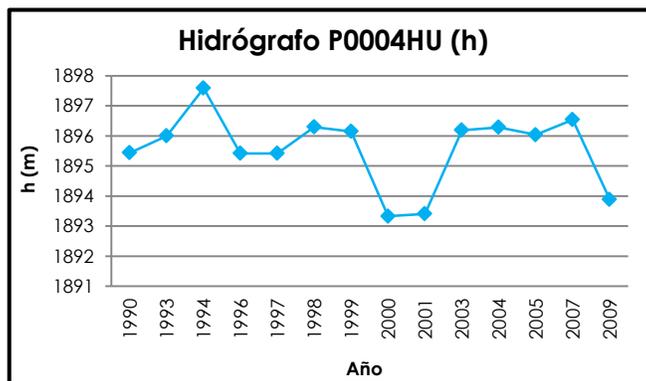
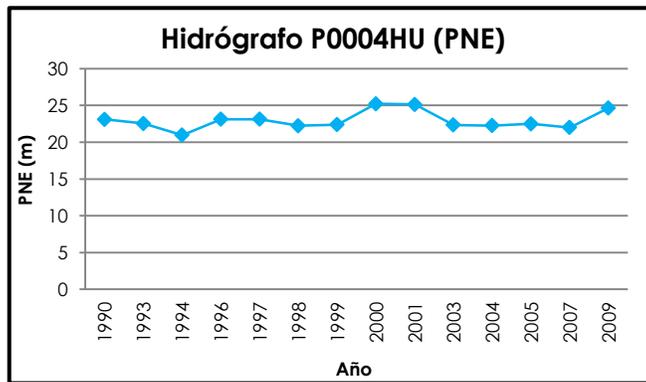
Clave censo 2010:		P0013HU
Elevación:		2007.45 msnm
Año	PNE (m)	Carga Hidráulica (m)
1990	105	1902.45
1993	107.15	1900.3
1996	108.72	1898.73
1997	110.3	1897.15
1999	111.82	1895.63
2001	113	1894.45
2003	113.4	1894.05
2004	110	1897.45
2005	112.63	1894.82
2009	113.4	1894.05
h1990-h2009=		8.4
Abatimiento/año=		0.44



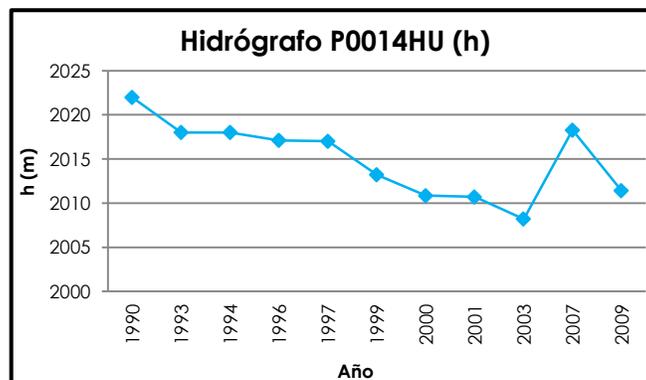
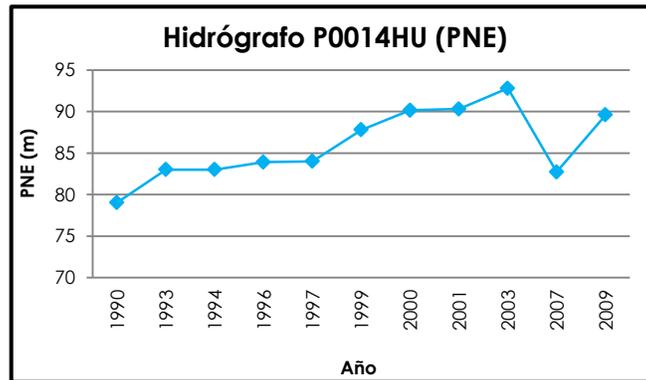
Clave censo 2010:		P0006HU
Elevación:		1993.411 msnm
Año	PNE (m)	Carga Hidráulica (m)
1990	93.6	1895.221
1993	87.61	1901.211
1994	87.61	1901.211
1996	89.06	1899.761
1997	89.62	1899.201
1998	89.9	1898.921
1999	90	1898.821
2000	91.32	1897.501
2001	92.94	1895.881
2002	92.32	1896.501
2003	91.3	1897.521
2004	89.2	1899.621
2005	89.33	1899.491
2007	91.1	1897.721
2009	93.3	1895.521
h1990-h2009=		5.69
Abatimiento/año=		0.32



Clave censo 2010:		P0004HU
Elevación:		1918.54 msnm
Año	PNE (m)	Carga Hidráulica (m)
1990	23.1	1895.44
1993	22.54	1896
1994	20.95	1897.59
1996	23.12	1895.42
1997	23.12	1895.42
1998	22.24	1896.3
1999	22.39	1896.15
2000	25.21	1893.33
2001	25.13	1893.41
2003	22.35	1896.19
2004	22.25	1896.29
2005	22.5	1896.04
2007	22	1896.54
2009	24.65	1893.89
h1990-h2009=		3.7
Abatimiento/año=		0.21



Clave censo 2010:		P0014HU
Elevación:		2101.01 msnm
Año	PNE (m)	Carga Hidráulica (m)
1990	79.05	2021.96
1993	83	2018.01
1994	83	2018.01
1996	83.91	2017.1
1997	84	2017.01
1999	87.8	2013.21
2000	90.16	2010.85
2001	90.31	2010.7
2003	92.8	2008.21
2007	82.73	2018.28
2009	89.6	2011.41
h1990-h2009=		13.75
Abatimiento/año=		0.72



Resumen Hidrógrafos

Clave Censo 2010	Elevación (msnm)	PNE (m)														
		1990	1993	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2009
P0013HU	2007.45	105	107.15	2007.5	108.72	110.3	2007.45	111.82	2007.5	113	2007	113.4	110	112.63	-	113.4
P0006HU	1993.411	93.6	87.61	87.61	89.06	89.62	89.9	90	91.32	92.94	92.32	91.3	89.2	89.33	91.1	93.3
P0004HU	1918.54	23.1	22.54	20.95	23.12	23.12	22.24	22.39	25.21	25.13	1919	22.35	22.25	22.5	22	24.65
P0014HU	2101.01	79.05	83	83	83.91	84	2101.01	87.8	90.16	90.31	2101	92.8	-	-	82.73	89.6

Clave Censo 2010	Abatimiento (m/año)
P0013HU	0.44
P0006HU	0.32
P0004HU	0.21
P0014HU	0.72
Suma	1.69
Promedio	0.42



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Anexo E

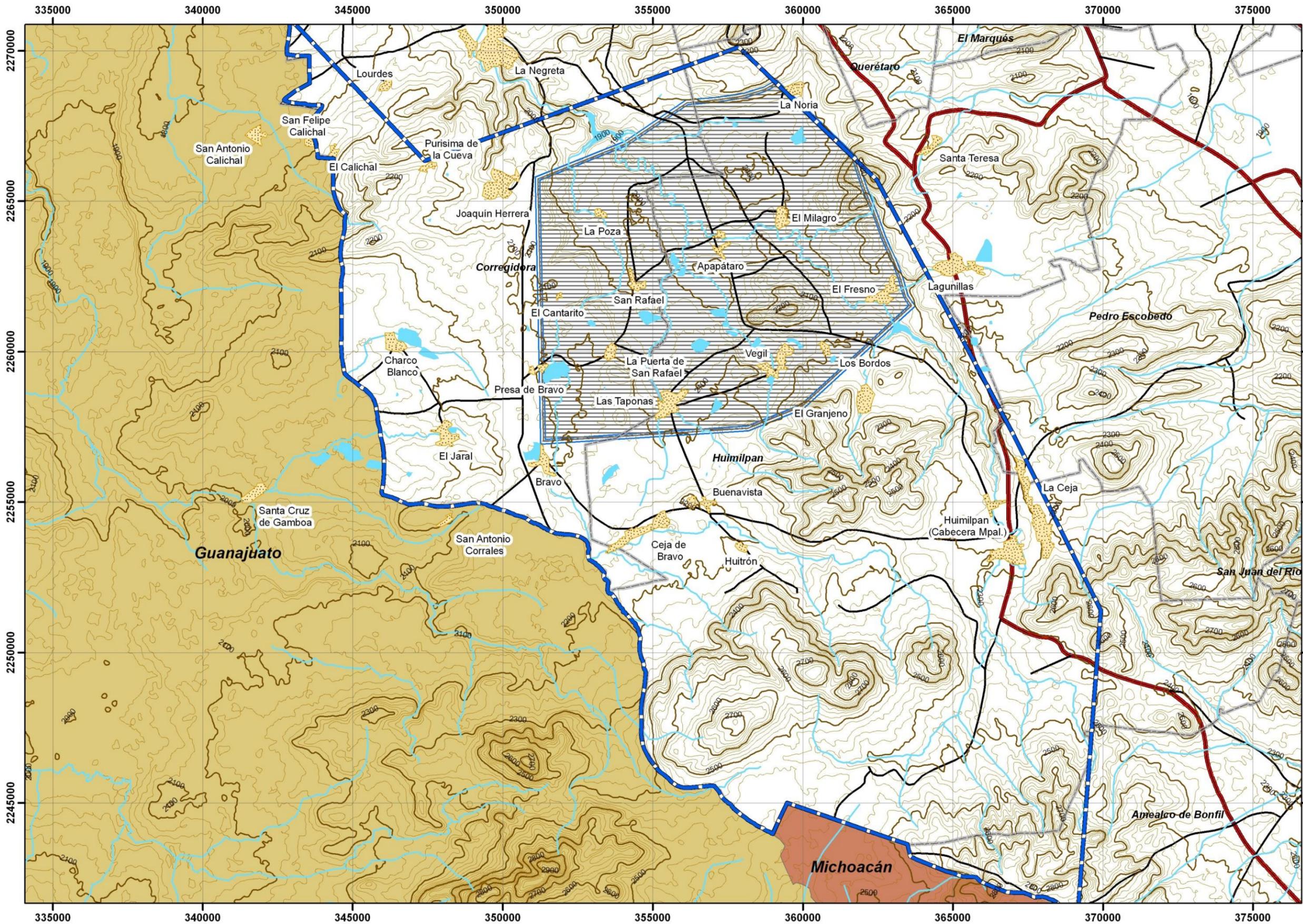
Mapa de Horas de Bombeo de Aprovechamientos



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Anexo G

Planos



Leyenda

- Carreteras
- Vialidades
- Corriente superficial
- Cuerpos de agua
- Poblaciones
- Área de balance
- Límite administrativo acuífero

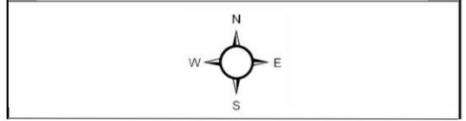
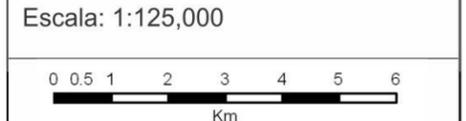
Curvas de nivel

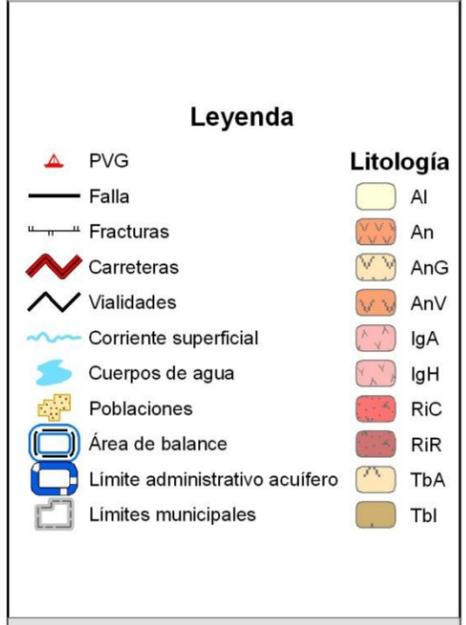
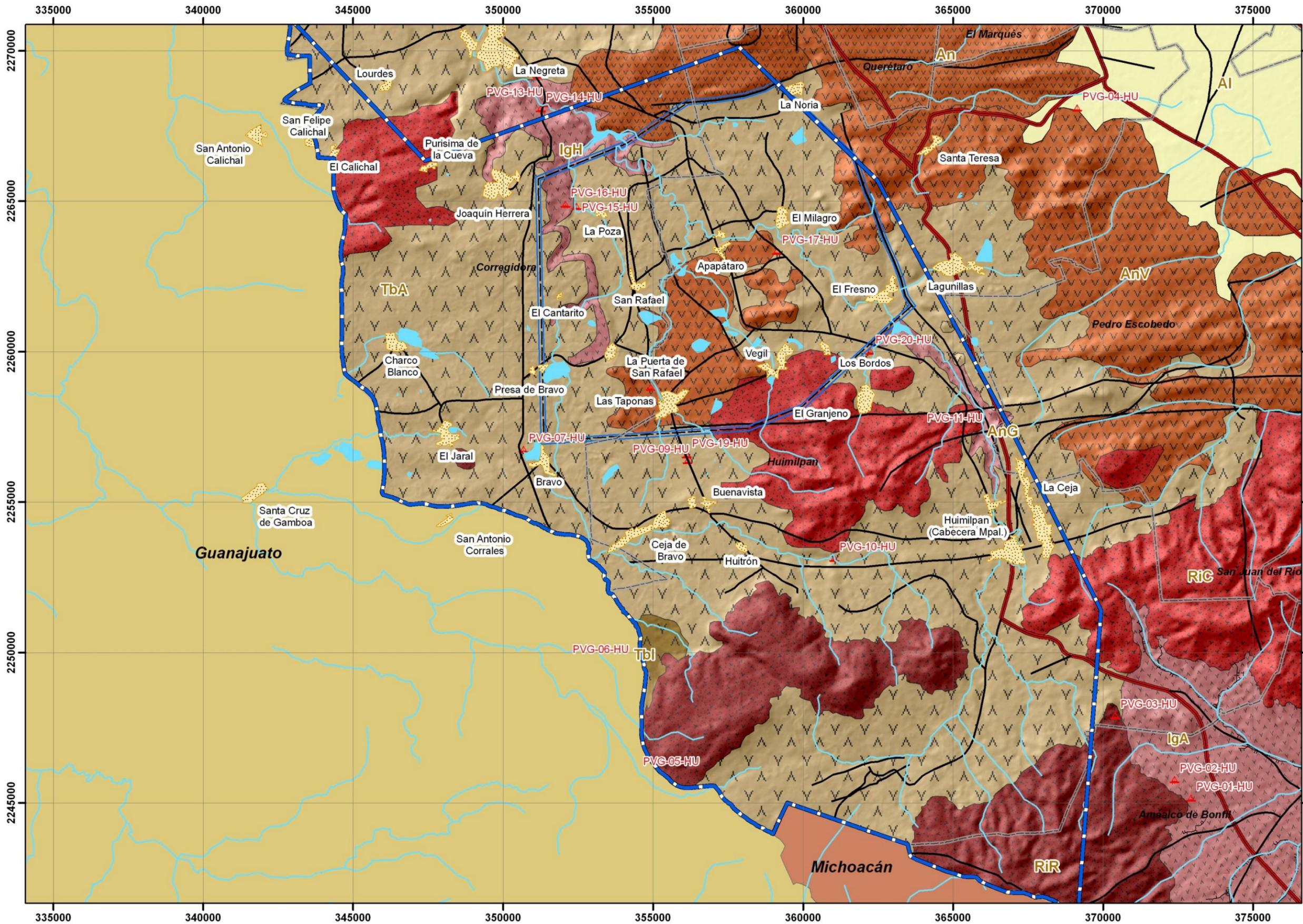
- Primaria
- Secundaria
- Límites municipales

Balance de Aguas Subterráneas
del Acuífero Valle de Huimilpan,
Estado de Querétaro

Plano No. 1:
Localización del área de estudio

Parámetros Geográficos:
Proyección: UTM Zona 14 N
Datum de referencia: ITRF92
Cotas referidas al nivel medio del mar



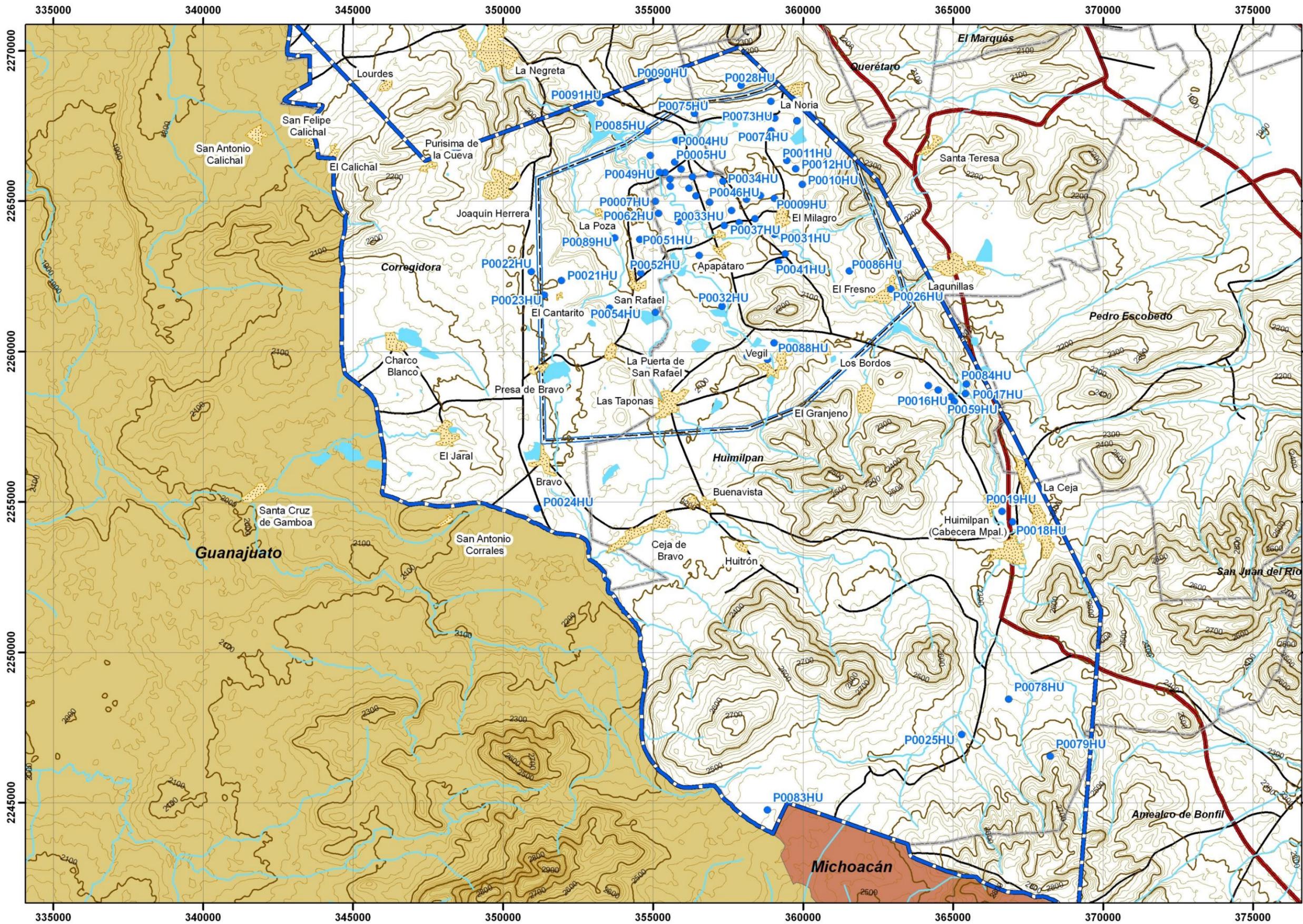


Balance de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de Huimilpan, Estado de Querétaro

Plano No. 2: Geología del Acuífero Valle de Huimilpan

Parámetros Geográficos:
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Datum de referencia: ITRF92
 Cotas referidas al nivel medio del mar

Escala: 1:125,000



Leyenda

- Aprovechamientos
- Carreteras
- Vialidades
- Corriente superficial
- Cuerpos de agua
- Poblaciones
- Área de balance
- Límite administrativo acuífero

Curvas de nivel

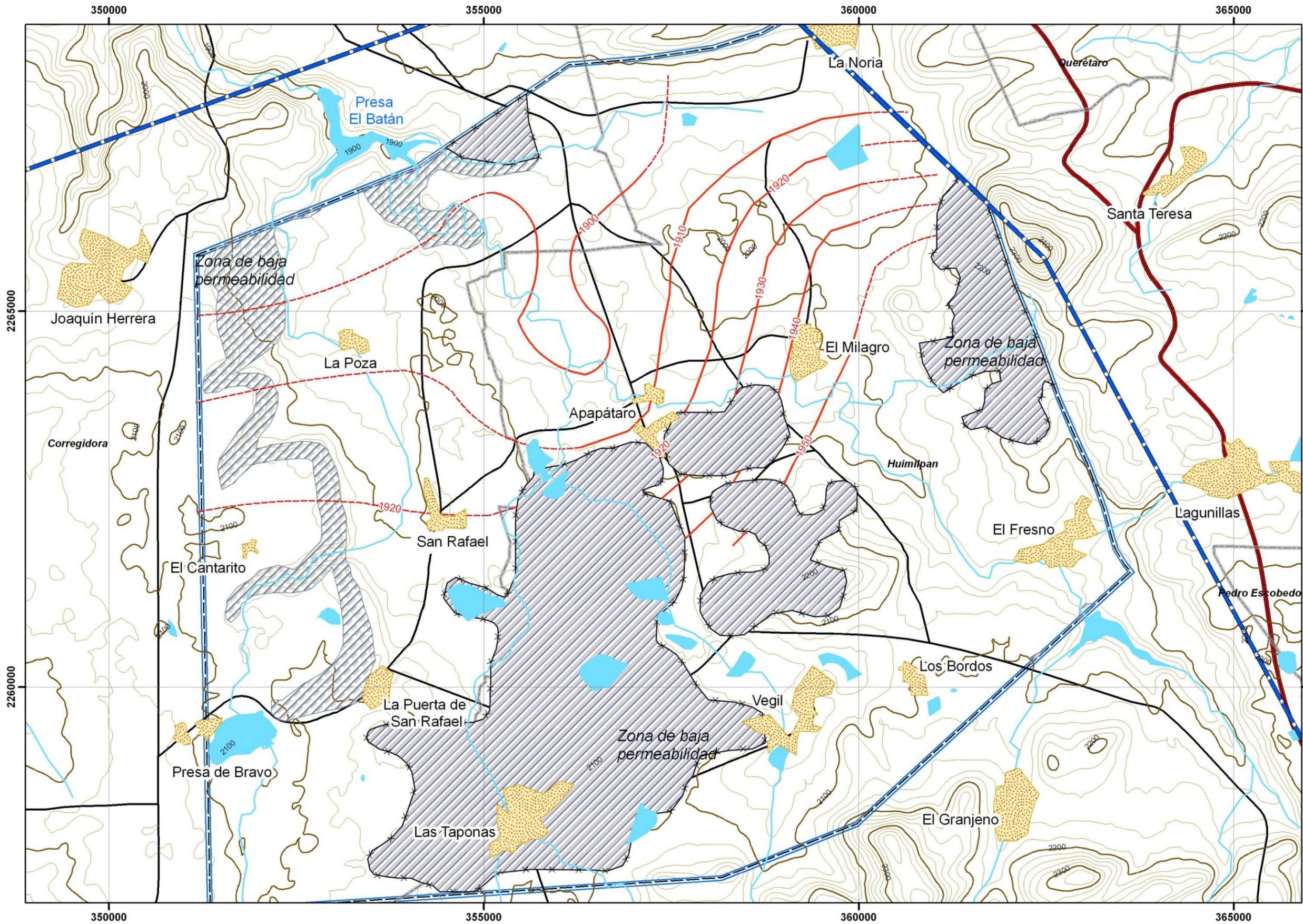
- Primaria
- Secundaria
- Límites municipales

Balance de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de Huimilpan, Estado de Querétaro

Plano No. 3:
Censo de Aprovechamientos

Parámetros Geográficos:
Proyección: UTM Zona 14 N
Datum de referencia: ITRF92
Cotas referidas al nivel medio del mar

Escala: 1:125,000



Leyenda

Equipotenciales 1994

- Inferida
- Reportada
- Carreteras
- Vialidades
- Corriente superficial
- Cuerpos de agua
- Poblaciones
- Área de balance
- Límite administrativo acuífero
- Límites municipales

Curvas de nivel

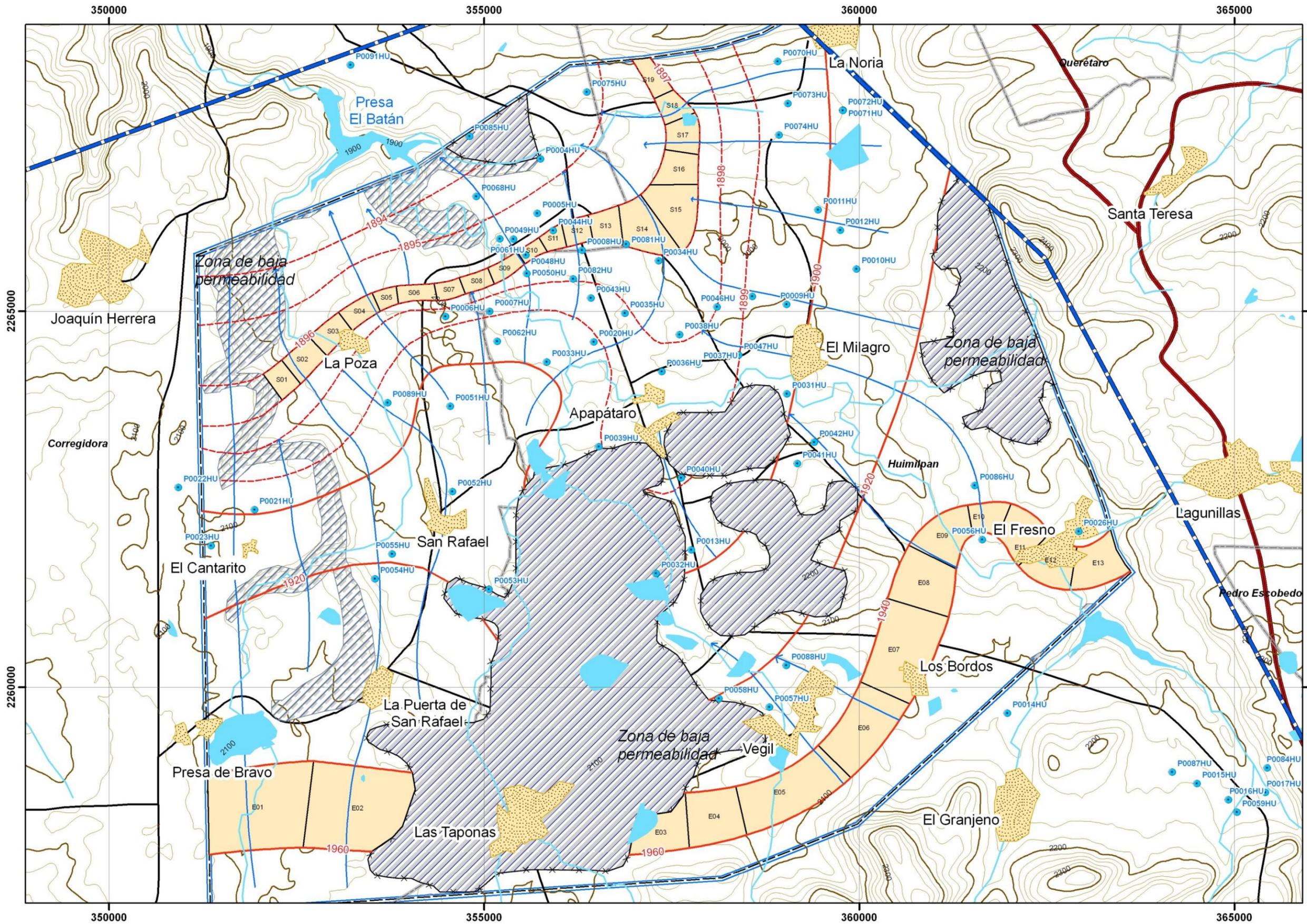
- Primaria
- Secundaria

Balance de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de Huimilpan, Estado de Querétaro

Plano No. 4: Piezometría 1994

Parámetros Geográficos:
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Datum de referencia: ITRF92
 Cotas referidas al nivel medio del mar

Escala: 1:50,000



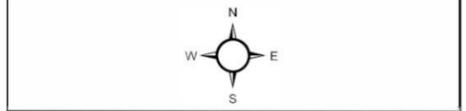
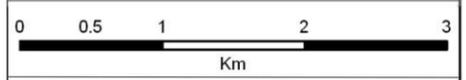
- Legenda**
- Aprovechamientos
 - Líneas de flujo
 - Equipotenciales 2010**
 - A cada 1 m
 - A cada 20 m
 - Carreteras
 - Vialidades
 - Corriente superficial
 - Cuerpos de agua
 - Poblaciones
 - Área de balance
 - Límite administrativo acuífero
 - Límites municipales
 - Curvas de nivel**
 - Primaria
 - Secundaria

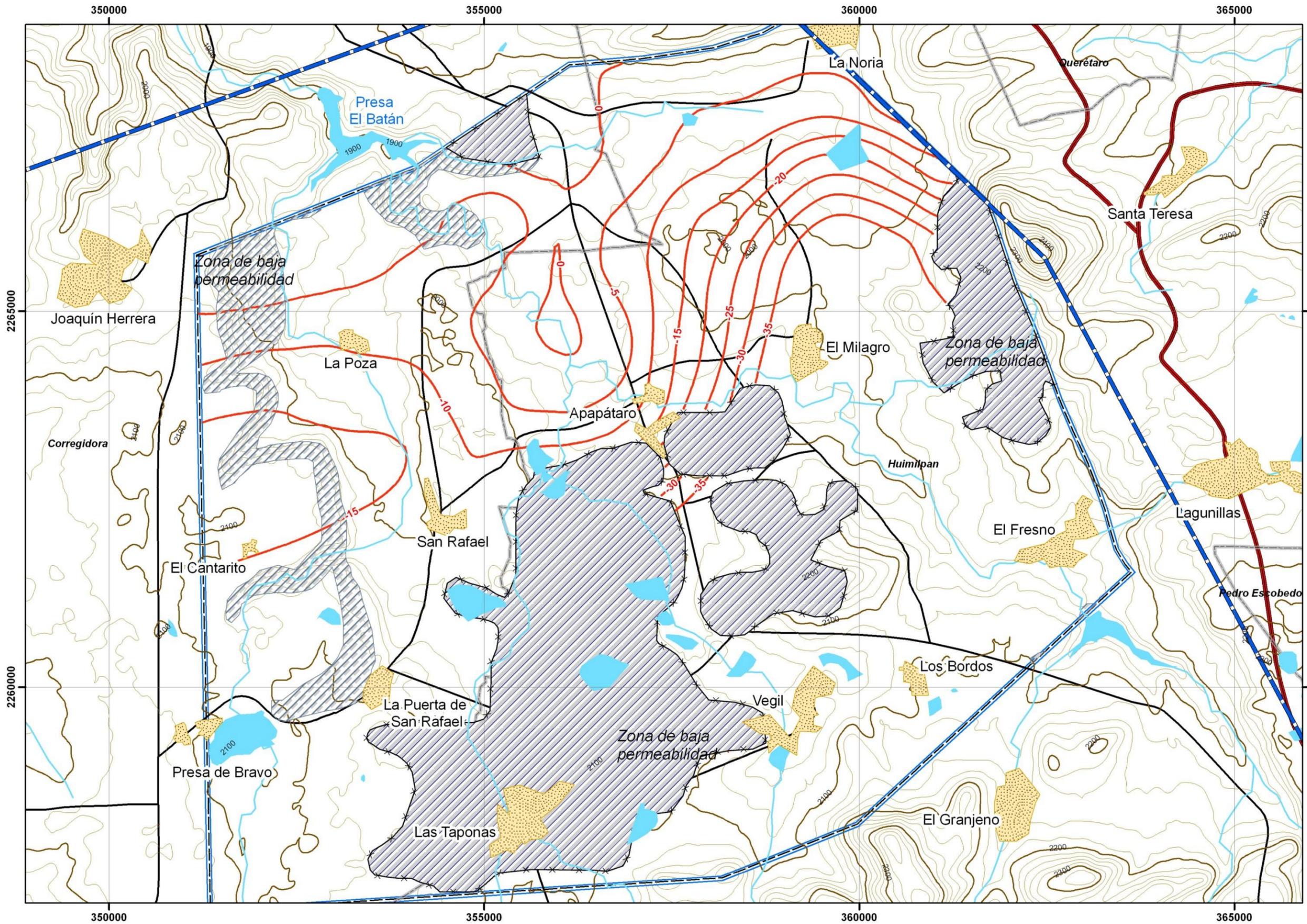
Balance de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de Huimilpan, Estado de Querétaro

Plano No. 5: Piezometría 2010 y celdas de balance

Parámetros Geográficos:
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Datum de referencia: ITRF92
 Cotas referidas al nivel medio del mar

Escala: 1:50,000





- Leyenda**
- Evolución 1994 - 2010
 - Carreteras
 - Validades
 - Corriente superficial
 - Cuerpos de agua
 - Poblaciones
 - Área de balance
 - Límite administrativo acuífero
 - Límites municipales
- Curvas de nivel**
- Primaria
 - Secundaria

Balance de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de Huimilpan, Estado de Querétaro

Plano No. 6:
Evolución piezométrica 1994-2010

Parámetros Geográficos:
Proyección: UTM Zona 14 N
Datum de referencia: ITRF92
Cotas referidas al nivel medio del mar

Escala: 1:50,000

