



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS
POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS DE
ABASTECIMIENTO**

TESIS

Que para obtener el grado de:
Ingeniera Geóloga

Presenta:

MÓNICA PÉREZ CRUZ

DIRECTOR:

DR. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIÚ

Ciudad Universitaria, 2014



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.

INDICE

| | Pág. |
|--|-----------|
| 1.- Introducción | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Objetivos..... | 1 |
| 1.3 Justificación..... | 1 |
| 1.4 Localización del área de estudio..... | 2 |
| 2.-Marco físico | 4 |
| 2.1 Geología..... | 4 |
| 2.1.1 Geología regional..... | 4 |
| 2.1.2 Geología Local | 6 |
| 2.2 Climatología..... | 7 |
| 2.3 Hidrología..... | 12 |
| 2.3.1 Hidrología superficial..... | 12 |
| 2.3.2 Hidrología subterránea..... | 13 |
| 3 Metodología..... | 14 |
| 3.1 Recopilación y análisis de la información..... | 14 |
| 3.2 Trabajo de campo | 15 |
| 3.2.1. Geología..... | 15 |
| 3.2.2 Geofísica | 16 |
| 3.2.3 Censo de aprovechamientos..... | 17 |
| 4 Resultados y discusión | 18 |
| 4.1 Geología..... | 18 |
| 4.2 Correlación geológico-geofísica..... | 21 |
| 4.3 Hidrogeología..... | 25 |
| 4.4 Hidrogeoquímica | 28 |
| 4.5 Modelo conceptual..... | 34 |
| 4.7 Diseño de terminación del pozo..... | 37 |
| 4.8 Costos..... | 39 |
| 5 Conclusiones y recomendaciones | 43 |
| 5.1 Conclusiones | 43 |
| 5.2 Recomendaciones | 43 |
| 6 Referencias citadas..... | 45 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Localización del área de estudio | 3 |
| Figura 2. Área de estudio (Tomado de la carta INEGI F13D75) | 4 |
| Figura 3. Arreglo estructural del punto triple. (Modificado de imagen satelital google earth) | 6 |
| Figura 4. Localización de estaciones climatológicas cercanas..... | 10 |
| Figura 5. Precipitación promedio y máxima por década por mes para la estación Jocotepec (Tomada de: estadística descriptiva estación 14077, CONAGUA)..... | 11 |
| Figura 6. Delimitación del área de estudio a partir del parteaguas superficial..... | 15 |
| Figura 7. Arreglo electródico tipo Schlumberger..... | 16 |
| Figura 8. Columna litológica del área de estudio..... | 20 |
| Figura 9. Plano geológico del área de estudio..... | 21 |
| Figura 10. Localización de las líneas geofísicas..... | 22 |
| Figura 11. Sección geofísica H1..... | 24 |
| Figura 12. Sección geofísica H2..... | 24 |
| Figura 13. Sección geofísica H3..... | 25 |
| Figura 14. Localización de los pozos y norias..... | 28 |
| Figura 15.- Diagramas de Stiff, noria N-3 y pozo P-8 | 30 |
| Figura 16.Diagrama de A.M. Piper..... | 31 |
| Figura 17.Diagrama de A.M. Piper..... | 31 |
| Figura 18.Diagrama de Schoeller..... | 32 |
| Figura 19.Ubicación de la perforación..... | 35 |
| Figura 20.Localización del sitio a perforar | 36 |
| Figura 21.Diseño constructivo del Pozo..... | 38 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág |
|--|-----|
| Tabla 1.Localización de estaciones climatológicas | 8 |
| Tabla 2. Resultados de aplicación del método de polígonos de Thiessen. | 9 |
| Tabla 3. Resumen de los aprovechamientos censados..... | 27 |
| Tabla 4.Resultados de análisis químicos..... | 30 |
| Tabla 5. Comparación de las características físicas químicas y bacteriológicas del agua subterránea con los valores de la norma NOM 127-SSA1-1994. | 33 |
| Tabla 6. Cotización de pozo..... | 42 |

CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE HIDROGEOLOGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

Este documento representa la treceava tesis del Grupo de Hidrogeología de la Facultad de Ingeniería (UNAM) como parte de su contribución científica y de formación de recursos humanos especializados en la evaluación de acuíferos

1.- Introducción

1.1 Antecedentes

El presente trabajo es parte de una solicitud a la Comisión Federal de Electricidad de apoyo al poblado de Huejotitán, en el municipio de Jocotepec, Jalisco, para ubicar un sitio adecuado para la perforación de un pozo que abastezca de agua a la población con un caudal requerido de 3.5 litros por segundo.

Para tal fin se realizó un estudio hidrogeológico que permita ubicar el sitio adecuado para el pozo, siguiendo una metodología que nos lleve a localizar dicho sitio.

1.2 Objetivos

Ubicar un sitio potencial para perforar un pozo de abastecimiento de agua potable en el poblado de Huejotitán mediante el seguimiento de una metodología.

Demostrar que siguiendo esta metodología se puede ubicar un pozo de abastecimiento ya sea para una población o una industria, tomando en consideración todos los elementos que se requieren para que el pozo sea productivo y sustentable.

Dejar asentado como se lleva a cabo el proceso de ubicación de un sitio potencial para la perforación de pozos de abastecimiento de agua potable, que sea el más adecuado y con éxito, al menor costo.

1.3 Justificación

Debido a la creciente demanda de agua, generada por el aumento exponencial de la población, ha llevado a explotar este recurso a través de pozos que bombean el agua que se encuentra en el subsuelo.

Sin embargo la competencia con las industrias por el vital líquido, ha originado la sobreexplotación de estos depósitos de agua llamados acuíferos, por lo que es necesario conocer la metodología para la obtención y aprovechamiento óptimo de este recurso, a si mismo, es responsabilidad de los profesionales en la materia aprovechar al máximo los elementos o indicios que nos lleven a la explotación óptima de este recurso.

El agua es un recurso que no se puede sustituir con otro como es el caso del petróleo de ahí que la importancia de contar con las herramientas y conocimientos necesarios para la explotación racional de este recurso.

Las nuevas fuentes de abastecimiento deben contar con una evaluación de disponibilidad futura que permitan garantizar el abastecimiento.

En México el agua subterránea constituye una de los recursos más importantes, en especial para las zonas áridas y semiáridas, por lo que su aprovechamiento se lleva a cabo de forma intensiva, ocasionando que existan acuíferos sobreexplotados, es decir, que la extracción es mayor al volumen de recarga.

Es por esto que estudios de disponibilidad en los acuíferos se iniciaron a partir del año 1968, contando a la fecha con más de 400, los cuales se apoyan en estudios regionales, y dan la posibilidad de implementar políticas de explotación para el uso en forma racional del agua subterránea y a fin de satisfacer las necesidades de agua a un corto, mediano y largo plazo. (Tinajero González 1985).

Por todo esto, se requiere de seguir una metodología que nos permita localizar sitios potenciales para perforación de un pozo de abastecimiento de manera que no represente un gasto excesivo o que afecte de manera importante al acuífero a explotar.

1.4 Localización del área de estudio

La zona de estudio se ubica en el estado de Jalisco en el valle de Huejotitan, al norte del poblado del mismo nombre, dentro del municipio de Jocotepec. (Figura 1) y al noroeste del Lago de Chapala.



Figura 1. Localización del área de estudio

El estado de Jalisco se encuentra dividido por cuatro de las varias provincias fisiográficas que conforman el Territorio Nacional (III Sierra Madre Occidental, IX Mesa del Centro, X Eje Neovolcánico y XII Sierra Madre del Sur). La zona de estudio se encuentra localizada en la provincia denominada Eje neovolcánico, el cual se divide en subprovincias perteneciendo a la denominada subprovincia de Chapala.

Geográficamente se localiza en la porción sureste del Estado de Jalisco (Figura 2) entre el polígono formado por las coordenadas UTM:

- 1) 650 000, 2 258 000,
- 2) 668 000, 2 258 000,
- 3) 668 000, 2 244 000
- 4) 650 000,2 244 000

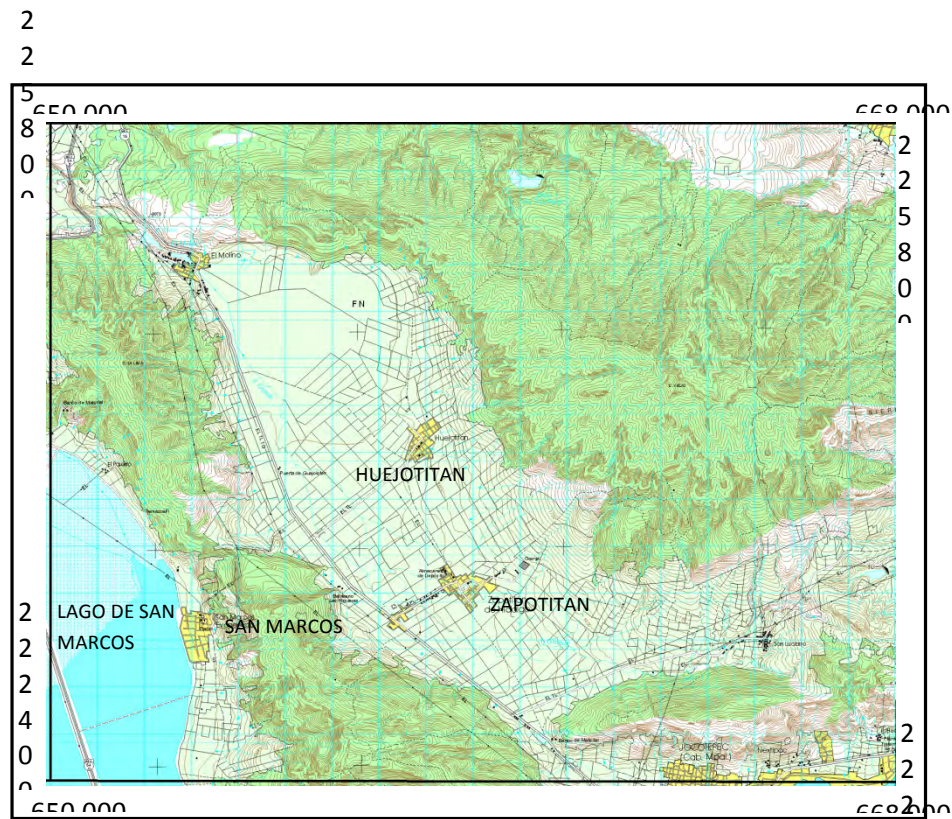


Figura 2. Área de estudio (Tomado de la carta INEGI F13D75)

El acceso al sitio se efectúa, a partir de la Cd. de Guadalajara, Jalisco, por la carretera federal núm. 80 hasta Acatlán de Juárez en el kilómetro 40, en donde se continúa por la carretera pavimentada Guadalajara–Morelia, hasta el kilómetro 13 donde se localiza el cruce que conduce a Huejotitán, Jalisco.

2.-Marco físico

2.1 Geología

2.1.1 Geología regional

La zona de estudio se localiza fisiográficamente en Faja Volcánica Transmexicana la cual está constituido de rocas ígneas extrusivas divididas en dos grandes eventos volcánicos: el más antiguo de edad de 13 a 8.7 m.a. compuesto por basaltos a los que se les denomina Secuencia Máfica Basal del Eje Neovolcánico.

El segundo evento está formado por derrames y productos piroclásticos de composición riolítica con edades que varían de entre los 7.2 y 2.8 m.a.

La zona de estudio se ubica en un sistema Neógeno de tres rifts o en una zona denominada punto triple continental donde convergen el Rift de Tepic- Chapala,(o también denominado Rift Tepic-Zacoalco), Rift de Chapala y el Rift de Colima, originados a finales del Mioceno, por deformación distensiva (Garduño-Monroy), que controlan la estructura y morfología de la zona, de cuencas y bloques.

A partir de los primeros años de la década de 1990, los estudios estructurales más detallados empezaron a documentar una tectónica esencialmente extensional para los sistemas de fallas del Rift Tepic-Zacoalco durante el Plioceno-Cuaternario (Gómez-Tuena et. al. 2005)

Los rifts Tepic-Zacoalco y Colima representan los límites continentales del bloque Jalisco que fueron parcialmente reactivados durante el Plioceno-Cuaternario con movimientos esencialmente extensionales, como consecuencia de los esfuerzos aplicados en límite de las placas Rivera y Norteamérica (Rosas Elguera et. al. 1996)

Las tres estructuras se intersectan a 40km al sur de la ciudad de Guadalajara, partiendo de este punto el Rift Chapala se extiende más de 100 km al Este, el Rift Colima 150 km hacia el Sur, mientras el Rift Tepic-Zacoalco se extiende 200 km al noroeste hasta el océano pacífico,(Garduño-Monroy)

Este arreglo estructural forma los grabens, de Chapala, Zacoalco, y Colima. (Figura 3).

La zona de estudio queda comprendida, en el Rift de Chapala, el cual estuvo activo desde el final del Mioceno y actualmente se encuentra inactivo (Garduño – Monroy 1993).



Figura 3. Arreglo estructural del punto triple. (Modificado de imagen satelital google earth, 2010)

El basamento en el Rift Chapala se compone de rocas cretácicas, sin embargo, no llegan a aflorar en el área de estudio, las unidades más antiguas en el rift son una sucesión de brechas heterogéneas cubiertas por una secuencia de flujos andesíticos con edades de 12 a 8.8 Ma., formando una meseta amplia que es cortada por una serie de fallas asociadas al proceso de rifting. (Garduño-Monroy et. al 1993)

El proceso de rifting se inicio durante el hiatus en volcanismo después del ciclo volcánico del Mioceno tardío.

2.1.2 Geología Local

En el área de estudio las rocas son de edad terciaria esencialmente andesitas y lavas basálticas formando extensas capas y formando flujos alrededor de los volcanes del Neógeno.

La unidad más antigua corresponde a una brecha heterogénea de bloques de lava que van desde andesitas a dacitas y en algunos afloramientos los bloques se observan embebidos en una matriz arenosa a arcillosa, pertenecientes a las "Brechas Chapala", esta unidad corresponde al Paleógeno. (Garduño –Monroy).

Las Brechas Chapala se encuentran en disconformidad erosional con una sucesión andesítica a flujos de lava basáltica, las cuales forman mesetas de no menos de 300 m de espesor y edades de 12-10 y 8.8 Ma., esta secuencia se denomina Secuencia Volcánica Intermedia (Pasquaré y Zanchi 1985).

Dentro de los flujos de lava se observan pequeños cuerpos lenticulares de depósitos lacustres fluviales.

La Secuencia Volcánica Intermedia se encuentra cubierta discordantemente por sedimentos lacustres y depósitos deltaicos del Mioceno tardío.

Cubriendo la Secuencia Volcánica Intermedia se encuentra la secuencia del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) de época Plioceno al Cuaternario, esta secuencia consiste en flujos de lava y escorias de composición basáltica a andesítica de espesor variable

Dentro del área de estudio los basaltos han sido datados en 1.8 a 1.4 m.a. y reportados en la carta geológico-minera Guadalajara, elaborada por el Servicio Geológico Mexicano.

De acuerdo a estas dataciones el rift se inicio antes de la secuencia del Cinturón Volcánico Mexicano.

En el rift Chapala se observan 4 sistemas de alineamiento principales (Garduño Monroy et al.):

- 1) Sistema E-W. Fracturas con tendencia N90°E, este sistema crea altos escarpes lineales, los volcanes del eje volcánico están alineados en esta dirección.
- 2) Sistema N-S/NNW-SSE. Los lineamientos con esta tendencia se reconocen al suroeste del rift. Se relaciona genéticamente con el sistema que domina la parte norte del Graben de Colima y la parte sur del graben de Zacoalco.
- 3) Sistema NW-SE. Este sistema solo está presente en la parte noroeste del rift.
- 4) Sistema WNW-ESE. Afecta ligeramente el sureste del rift.

2.2 Climatología

El clima predominante en la zona se clasifica como semiseco y semicálido las estaciones de otoño e invierno por lo general son secas, las lluvias ocurren durante los meses de junio a agosto, sin embargo se pueden extender hasta el

mes de octubre e incluso secciones de la cuenca con lluvias en diciembre. (CONAGUA 2009)

La temperatura promedio mensual más alta registrada en la cuenca es de 30.4° y la mínima de 12.1°.

La temperatura media anual es de 19.35° C, siendo el mes de junio en que se registran las temperaturas más elevadas, y en el mes de enero el mes más frío como reportan para un periodo de 12 años (1986-1997), las estaciones climatológicas más cercanas a la zona de estudio (Figura 4) y que a continuación se mencionan. (Estudio de actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero 1451Huejotitan, CONAGUA 2009)

| Estación | Municipio | Latitud | Longitud | Altitud (msnm) |
|------------|-------------------|---------|----------|----------------|
| Acatlán | Acatlán de Juárez | 20°26' | 103°35' | 1361 |
| Tlajomulco | Tlajomulco | 20°28' | 103°27' | 1650 |
| Jocotepec | Jocotepec | 20°15' | 103°26' | 1537 |

Tabla 1. Localización de estaciones climatológicas

Estas mismas estaciones registran una precipitación media anual de 806 mm.

El análisis de la precipitación se realiza para conocer el comportamiento de la recarga por este concepto.

La precipitación se divide en tres componentes analizables, ellas son: evapotranspiración, escurrimiento e infiltración. Para el análisis cuantitativo de cualquiera de estos elementos es necesario primero obtener los volúmenes precipitados dentro de la cuenca de estudio. Para determinar tales volúmenes existen diversos métodos, para el presente estudio se utilizó el de polígonos de Thiessen. Este método consiste en unir en un plano las estaciones climatológicas implicadas en el estudio mediante líneas rectas, formando triángulos, para después trazar líneas rectas que bisecten los lados de los triángulos y por geometría elemental, estas convergieran en un punto, formando así polígonos dentro de los cuales se encontrará una estación climatológica. Su fórmula es:

$$h_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi}$$

Donde:

h_p = Altura de precipitación media.

h_{pi} = Altura de precipitación registrada en la estación i.

n = Número de estaciones bajo análisis.

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO

A_i = Área de influencia de la estación i.

A_T = Área total de la cuenca.

A continuación se muestran los resultados de la aplicación de éste método.

| ESTACION | AREA PONDERADA km ² | PORCENTAJE DEL AREA TOTAL % | ALTURA DE PRECIPITACION mm | VOLUMEN m ³ x 10 ³ |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| Jocotepec | 89.49 | 69.63 | 802.93 | 71,854.21 |
| Tlajomulco | 18.56 | 14.44 | 897.76 | 16,662.43 |
| Acatlán | 20.47 | 15.93 | 816.10 | 16,705.57 |
| TOTALES | 128.52 | 100 | | 105,222.20 |

Tabla 2. Resultados de aplicación del método de polígonos de Thiessen.

Sustituyendo los valores de la ecuación resulta:

$$h_p = \frac{105,222.20}{128.52} = 818.72 \text{ mm}$$

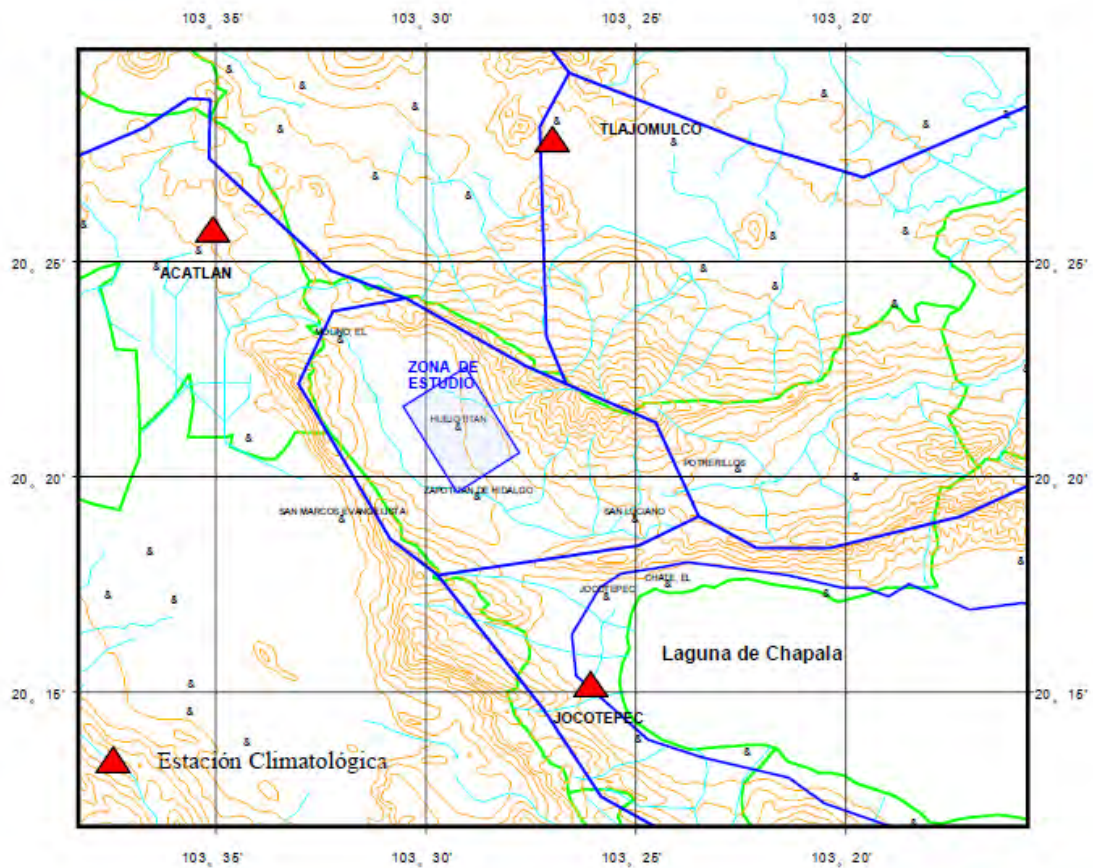


Figura 4. Localización de estaciones climatológicas cercanas

De acuerdo al análisis anterior la altura de la precipitación media anual corresponde con 818.72 mm.

Los meses con mayor precipitación en la zona de estudio corresponden a junio, julio, agosto y septiembre, tal como lo muestra la figura 5 de precipitación promedio y máxima para las últimas 7 décadas, en la estación climatológica de Jocotepec.

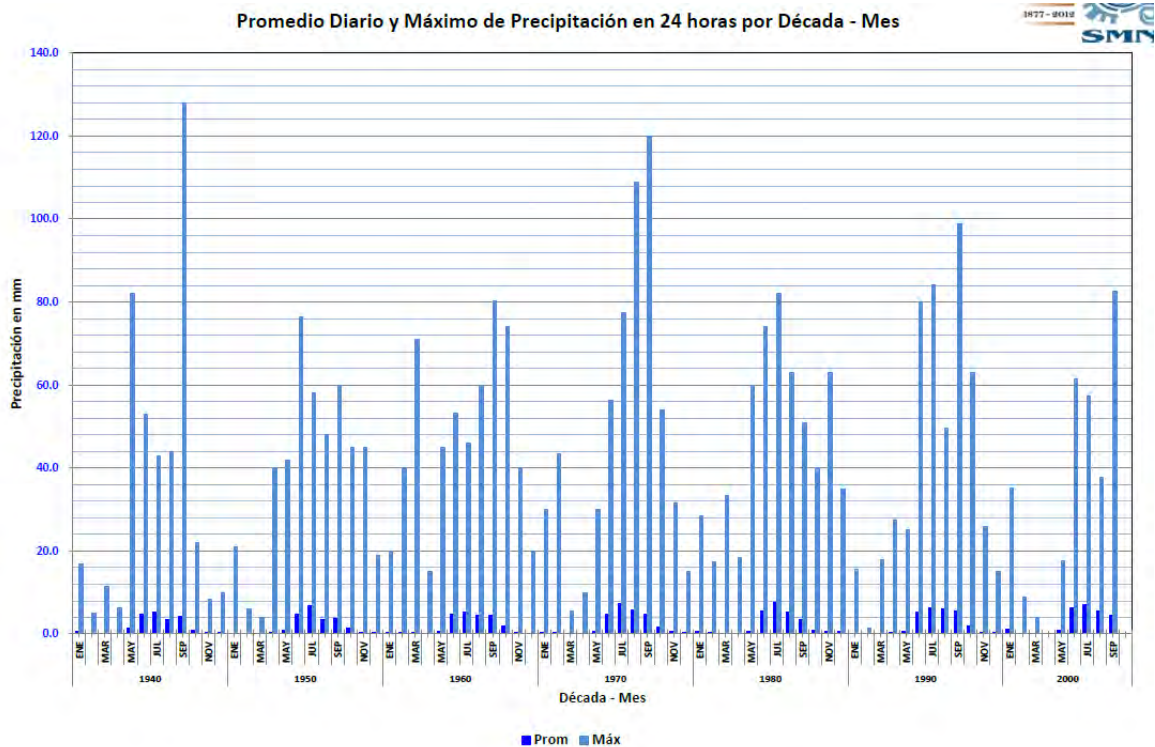


Figura 5. Precipitación promedio y máxima por década por mes para la estación Jocotepec (Tomada de: estadística descriptiva estación 14077, CONAGUA)

La evaporación media anual es del orden de 166.23 mm, presentando los meses con el mayor índice desde marzo hasta junio. Como reportan las tablas climatológicas de evaporación de las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio. (Estudio de actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero 1451Huejotitan, CONAGUA 2009)

El valor de evapotranspiración real para la zona, que corresponde al agua producto de la lluvia que retorna a la atmósfera por los fenómenos de evaporación directa y transpiración de las plantas, se estimó aplicando el método de Lucien Turc (Custodio E. y Llamas M. Hidráulica subterránea, 1996), el cual se representa por la siguiente ecuación:

$$ETR = \frac{P}{(0.9+(P^2/L^2))^{1/2}}$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real en mm

P = Precipitación en mm/año (818,72)

L = $300+25t + 0.05t^3$ (1146)

t = Temperatura media anual en °C (19,35)

Sustituyendo los valores en la ecuación se tiene que: **ETR = 689.44 mm/año.**

2.3 Hidrología

2.3.1 Hidrología superficial.

El área de estudio se encuentra dentro de la región hidrológica RH-12 Lerma-Santiago, dentro de la cuenca RH12-D Lago Chapala, en la subcuenca hidrológica de San Marcos, y específicamente en la microcuenca 12-043-01-007 (Zapotitán de Hidalgo), cuyas principales características son: topográficamente la microcuenca más elevada, y se encuentra en los límites de la cuenca de Lago de Chapala, por lo que su recarga está limitada a la época de lluvias, tiene su desembocadura superficial a través del arroyo El Grande y no se localizaron manantiales.

Esta microcuenca corresponde a las mayores elevaciones de la cuenca del lago de Chapala, con una morfología de formas suaves y moldeadas lo que origina gradientes suaves en las porciones este y sur del microcuenca, mientras que en la porción este y norte presenta un relieve abrupto, con pendientes hasta del 70%, en donde los arroyos forman valles angostos y profundos con forma de 'V', estas pendientes pronunciadas obedecen a las paredes de las fallas normales que se observan en el área.

El mayor desnivel que se presenta en esta área con 1400 metros desde la población de Huejotitán hasta la cima de la sierra el Madroño.

La microcuenca sedimentaria de Zapotitán tiene vertientes asimétricas y se encuentra limitada por los bloques de la Sierra el Madroño al noreste, al suroeste por una sierra pequeña sin nombre oficial y al sur por la sierra El Chante, que también es de baja altura en comparación con la del Madroño.

Los recursos hidrológicos están formados por arroyos intermitentes que se alimentan solo en la época de lluvias. Son arroyos que bajan de las sierras sin encontrar algún río propiamente dicho y desembocan en el lago de Chapala y

cuenas adyacentes. En la microcuenca de Zapotitán de Hidalgo el arroyo principal es El Grande y fluye a la Cuenca Cerrada San Marcos-Sayula un 90% y un 10% al lago de Chapala.

El drenaje predominante es de tipo subrectangular a subdendrítico con una alta densidad de arroyos de corta distancia, los cuales presentan un drenaje de tercer grado. El cauce mayor es el arroyo El Grande con un desarrollo de 19 km y una orientación sureste–noroeste, esta corriente es alimentada principalmente por una red de arroyos de tipo intermitente con escorrentía solo en época de lluvia, con longitudes entre 1 y 3 km, localizados en los alrededores de la cuenca.

2.3.2 Hidrología subterránea.

El acuífero que se pretende explotar es el acuífero de Huejotitán, el cual se encuentra limitado por: el Cerro el Ixcapil y Cerro los Huajes al sur, al Este Sierra del Madroño, al Oeste Sierra el Tigre y Sierra la Difunta, al Norte Cerro Coronilla, Cerro Viejo y Cerro el Chino. (Estudio de actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero 1451Huejotitan, CONAGUA 2009).

Este acuífero limita al norte con el acuífero de San Isidro, al este con el acuífero Cajititlán, al oeste con el acuífero Lagunas y al sur con el acuífero Chapala. (Estudio de actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero 1451Huejotitan, CONAGUA 2009).

El acuífero se considera de tipo libre pues está conformado por sedimentos lacustres Cuaternarios, de espesor variable y que pueden llegar hasta los mil metros de espesor, el flujo subterráneo es hacia las partes bajas de la cuenca circulando a través de depósitos aluviales, en las partes altas fluye a través de boleos o depósitos de talud y basaltos fracturados. (Estudio de actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero 1451 Huejotitan, CONAGUA 2009).

El uso de agua subterránea se efectúa a través de pozos y norias para uso doméstico y/o potable así como para la agricultura.

Según el Registro Público de Agua (REPDA) en el acuífero existen 17 pozos de los cuales son 15 agrícolas, 1 de uso pecuario y 1 de uso público urbano.

3 Metodología

3.1 Recopilación y análisis de la información.

Como primer paso dentro de la metodología se realiza la recopilación de información para analizarla detalladamente, información preexistente de la zona de estudio, que pueden ser desde cartografía básica hasta artículos y tesis relacionados con el área a estudiar.

Se requiere conocer la geología de la región a evaluar la cual nos permite saber el tipo de rocas existentes en dicha área, así como su arreglo estructural que favorezca la formación de un acuífero productivo.

La información recopilada consistió principalmente en artículos científicos de la zona, así como cartografía emitida por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), y la carta geológica-minera emitida por el Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Se delimitó la zona de acuerdo a los alcances y a las posibilidades de encontrar agua de acuerdo a la información bibliográfica obtenida.

Se delimito la cuenca a partir del parteaguas superficial natural de la cuenca la cual corresponde a 119.16 km² y se muestra en la figura 6.

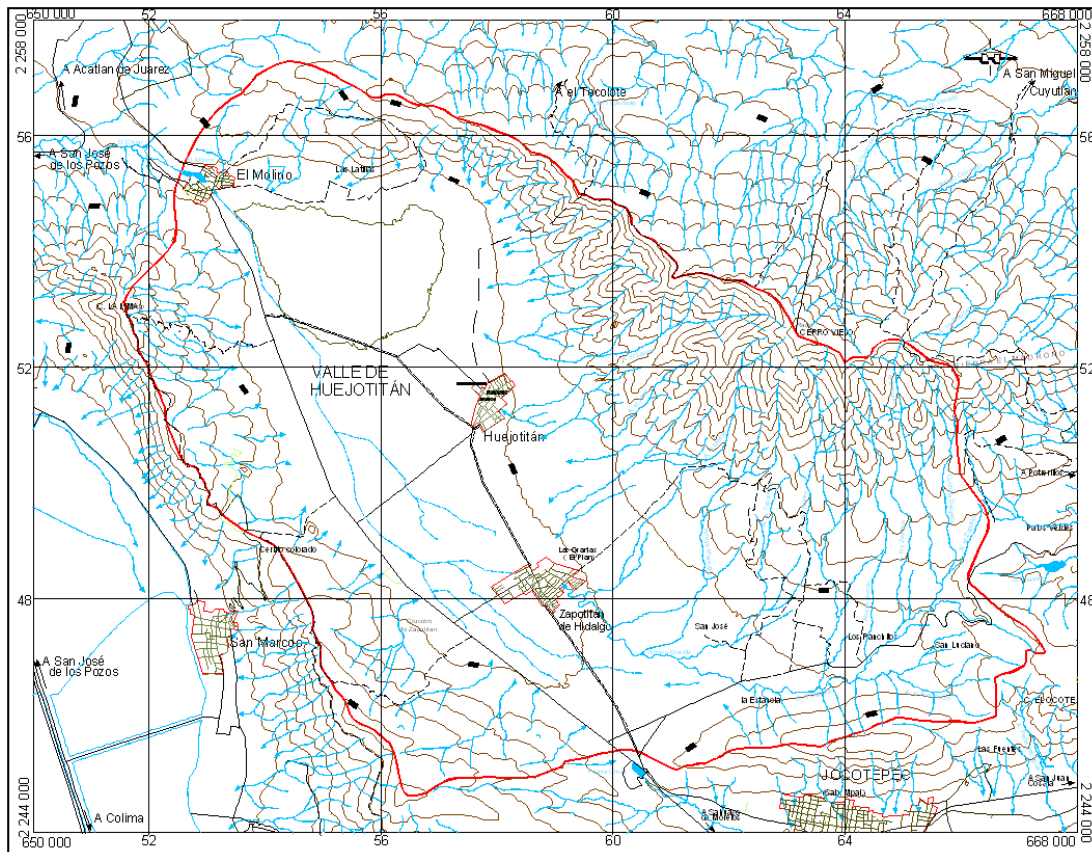


Figura 6. Delimitación del área de estudio a partir del parteaguas superficial.

3.2 Trabajo de campo

3.2.1. Geología

De acuerdo a la delimitación del área de estudio se procede a realizar un reconocimiento geológico superficial de la zona, es decir, un levantamiento geológico, con puntos específicos a verificar, con la finalidad de conocer los materiales que conforman el acuífero, así como posibles espesores y profundidades a las que se encuentran o se espera encontrar.

Durante los recorridos de campo es necesario hacer anotaciones y observación de detalles como el tipo de vegetación, el tipo de erosión, el uso de suelo, etc., con estas observaciones podemos predecir el comportamiento hidráulico de las rocas.

La interpretación geológica se hizo a través de la generación de un plano geológico y secciones geológicas además de métodos indirectos (geofísica).

Con esta actividad se puede definir un modelo geológico que nos permita conocer las características en el subsuelo, para correlacionar los tipos de rocas y su ambiente de depósito, así como su arreglo estructural, lo que, nos dará un mejor indicio de los sitios con mayor potencial de almacenar agua.

Así mismo se realizó una memoria fotográfica con los puntos verificados, la cual se presenta en el anexo fotográfico.

3.2.2 Geofísica

La geofísica es una ciencia que nos permite conocer las características litológicas en el subsuelo mediante distintos métodos indirectos, para el caso de la exploración de aguas subterráneas se utiliza el método de tendidos o sondeos eléctricos verticales (SEV's), el cual consiste en hacer circular corriente eléctrica a través de dos electrodos sobre la superficie del terreno (A y B) y medir las diferencias de potencial o decaimiento de la corriente mediante otro par de electrodos producidos en un punto intermedio (M y N).

Existen varios arreglos de los electrodos, el más utilizado es el arreglo Schlumberger, por ser el más sencillo, consiste en mantener fijos los electrodos de potencial (A y B) mientras que los electrodos de corriente se cambian (M y N) (Figura 7). La posición de los electrodos de corriente y de potencial con respecto al centro del arreglo permite determinar la constante geométrica y en conjunto con la cantidad de corriente y la diferencia de potencial se calcula la resistividad aparente, la cual se grafica en una escala logarítmica contra la abertura de los electrodos dividido entre dos.

De la inversión de la curva de resistividad aparente obtenida se generan los datos de resistividad del modelo, asignando a cada capa una resistividad, asociándola a las características físicas del subsuelo.

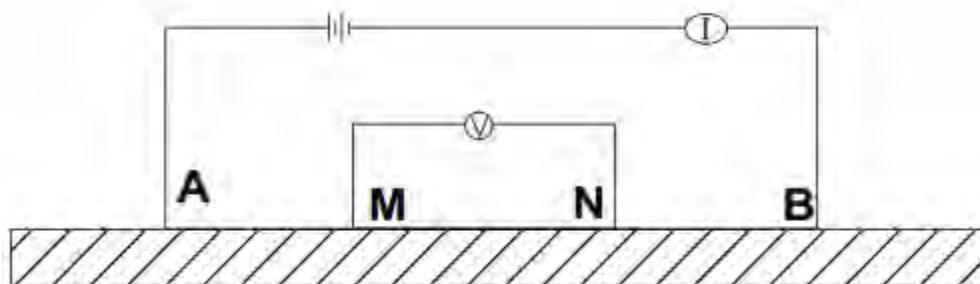


Figura 7. Arreglo eléctrico tipo Schlumberger

El número de líneas de los SEV's, pueden ser tantas como sean posibles, pero se recomiendan al menos tres líneas para correlacionarlas y tener un modelo más completo, de estas líneas resultan secciones geofísicas, con unidades geofísicas de resistividad, existen tablas para correlacionar los valores de resistividad con su correspondiente tipo de roca.

Una vez conociendo las características geológicas superficiales se procede a proponer las líneas de los SEV's en donde se crea conveniente, es decir, donde sea más útil conocer las características a profundidad, tanto para conocer la litología como posibles espesores del acuífero, una vez que ya se han realizado las observaciones en campo pertinentes, para calibrar nuestro modelo geológico de la zona.

Para la ubicación del pozo se propusieron tres líneas geofísicas la línea H1 con rumbo NE34°SW con 583.18 metros de longitud, paralela a la línea H1 y separada 300 m hacia el oeste, se propuso trazar la línea geofísica H2 con 600 metros de longitud, además de una tercer línea que corta casi perpendicularmente a las dos anteriores, la línea H3 con rumbo SE52°NW, con una longitud de 521.57 metros.

3.2.3 Censo de aprovechamientos

El censo de los aprovechamientos hidráulicos dentro de la zona de estudio se realiza con la finalidad de definir los volúmenes de descarga por este concepto, así como para conocer el uso del agua y la eficiencia que puede tener la zona.

Dentro del censo de los aprovechamientos es necesario conocer las características de las obras así como el régimen de operación, el número de habitantes servidos, el caudal de operación, el tiempo de bombeo, el uso del agua, etc.

Las características anteriores generalmente se capturan en un formato prediseñado para esta actividad de tal manera que ningún aspecto se deje de lado.

Los aprovechamientos hidráulicos se ubicaron en nuestro plano base mediante un dispositivo GPS.

Es importante mencionar que para realizar el censo de aprovechamientos es necesario obtener un permiso por parte de los propietarios de los pozos o con las autoridades competentes, el cual por lo general se debe obtener con anticipación, considerando que se requiere de un tiempo considerable obtenerlos.

La localización de los aprovechamientos se llevo a cabo en conjunto con el delegado del poblado de Huejotitán el cual facilitó los accesos a los mismos.

Una vez conocidos los aprovechamientos hidráulicos, con su ubicación preliminar en nuestro plano, mediante un dispositivo GPS, se procede a realizar una campaña de levantamiento topográfico de los mismos para conocer su elevación con respecto al nivel del mar para posteriormente realizar una configuración de la dirección del flujo de agua subterránea con los aprovechamientos más representativos de la zona.

4 Resultados y discusión

4.1 Geología

De acuerdo a lo observado en campo y a las tres secciones geofísicas realizadas, se elaboró el modelo geológico conceptual del área de estudio que consiste en rocas volcánicas extrusivas de edad terciaria, así como de unidades más recientes de poca extensión.

Las deformaciones que tuvieron lugar son las responsables de la configuración topográfica actual, así como la actividad volcánica del cuaternario, la cual originó coladas de basaltos.

La zona se encuentra afectada por fallas y fracturas con dirección E-W y NE-SW producto de la tectónica de distensión que afecto el área a finales del Mioceno.

El basamento geológico no aflora en la zona, sin embargo, las rocas más antiguas de edad Miocénica corresponden a tobas andesíticas con intercalación de depósitos brechados de composición andesítica, se encuentra aflorando en el extremo sureste del área de estudio, en contacto tectónico se encuentran las rocas del Plioceno compuestas por coladas de basaltos con depósitos andesíticos en la parte inferior de la unidad, aflora en gran parte del área de estudio alrededor del Valle de Huejotitán se estima un espesor mínimo de 1300 m. en la parte de la sierra El Madroño, tiene un alto número de fallas normales dado que es donde inicia el graben de Tepic–Zacoalco, las rocas del cuaternario corresponden a tobas andesíticas y derrames de basaltos de color gris oscuro y finalmente los depósitos aluviales y lacustres así como de talud y residuales.

Se describen a las unidades de la más antigua a la más reciente, y su distribución espacial se muestra en la figura 9.

Unidad toba andesítica.-Brecha volcánica andesítica (TmTa-Bva).- Consiste principalmente de tobas y brechas de composición intermedia. No se observa la

unidad que la subyace y se encuentra en contacto tectónico con la unidad Andesita – Basalto (Tpl B-A); de esta unidad solo se localiza un pequeño afloramiento en la parte sureste del área de estudio.

Unidad andesita – basalto (TplB-A).- La base de esta unidad se conforma de escoria rojiza de composición andesítica, tobas andesíticas y de la parte baja hasta la cima por una secuencia de coladas de basaltos y niveles de lava fragmentada con horizontes de ceniza, lapilli, y bloques, se observan niveles de basaltos vesiculares y una pseudoestratificación de las coladas de basaltos. El contacto inferior no aflora, solo se observa un contacto tectónico con la unidad toba andesítica – Brecha volcánica andesítica (TmTa-Bva), y cubierta concordantemente por la Unidad Andesita – Basalto (QptA-B). El espesor de esta unidad no se pudo determinar sin embargo, con base en la información obtenida, se calcula un espesor mayor a los 1300 m. Fotografías 3, 4, 5, 6, 7, y 8.

Unidad Andesita – Basalto (QptA-B).- Compuesta principalmente por roca volcánica extrusiva constituida por ceniza, lapilli, y bloques. Su textura es piroclástica que en ocasiones presenta bombas volcánicas con diámetro promedio de 0,10 m y pseudoestratos en posición horizontal o inclinada. Su morfología se constituye por conos escoriáceos monogenéticos y algunos frentes de derrames lávicos. Fotografías 9 y 10.

Depósitos aluviales y Depósitos lacustres (Qhoal- Qhola).- bajo este nombre se agruparon a los depósitos clásticos continentales que se depositan en la parte baja de la microcuenca y básicamente son sedimentos transportados por el arroyo El grande, que se deposita en el fondo de la cuenca, en el pasado la cuenca tuvo niveles de agua similares a los del lago de Chapala y con un comportamiento similar, durante este tiempo se depositaron clastos de tamaño variable y en las épocas de estiaje los depósitos principales son sedimentos finos (limos y arcillas), posteriormente el nivel descendió dejándola en las condiciones actuales. Fotografías 11 y 12

Depósitos de talud y Depósitos residuales (Qdt- Qre).- Son materiales producto de la erosión de las rocas adyacentes que son transportadas por gravedad hacia las partes bajas, están constituidos principalmente por clastos de basaltos provenientes de la Sierra El Madroño, la cual en su porción occidental está limitada por una falla normal con pendiente mayor a los 70°, son clastos sin clasificar, angulosos a subangulosos y de tamaños variables desde gravas hasta bloques mayores a los 2 m. Los depósitos residuales son formados por el intemperismo “In Situ” de los basaltos. Su granulometría se constituye por clastos del tamaño de la arena, limo y arcilla. Los suelos generalmente son de color pardo rojizo y se extienden sobre las mesetas basálticas. Estos depósitos son

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO

transportados por el agua y posteriormente son depósitos aluviales o lacustres, su espesor varía desde los 10 cm hasta 1 m. Fotografías 13 y 14.

La columna litológica del área de estudio se muestra en la figura 8.

| ERA | PERÍODO | ÉPOCA | COLUMNA LITOLÓGICA | DESCRIPCIÓN | m.a. | |
|-------------|-------------|----------|--------------------|---|--|------|
| | | | | | | |
| CUATERNARIO | HOLOCENO | Qhoal-la | | Depósitos aluviales y lacustres. - compuesto de arcillas, arenas y gravas, depositadas en las cuencas. | Depósitos de talud y residuales. - se compone de clastos del tamaño de bloques a gravas en una matriz areno-arcillosa, los depósitos residuales son la alteración de las rocas que afloran. | 0,01 |
| | | Qhodi-re | | | | |
| | PLEISTOCENO | QptA-B | | Unidad Andesita - Basalto. - Se compone de tobas de composición andesítica y derrames de basaltos de color gris oscuro. Esta unidad esta datada en 1,4 m. a. para los basaltos. | 1,68 | |
| | | | | | | |
| NEOGENO | PLIOCENO | TplB-A | | Unidad Basalto - Andesita. - compuesta por coladas de basaltos, lava fragmentada y basaltos vesiculares, fué datada en 3,3 m.a. solo se observaron depósitos de andesitas en la parte baja de la unidad. | 5,1 | |
| | | | | | | |
| | MIOCENO | TmTa-Bva | | Unidad toba andesítica - Brecha volcánica andesítica. - Consiste de tobas andesíticas intercaladas con depósitos brechados de composición andesítica. | | |

Figura 8. Columna litológica del área de estudio.

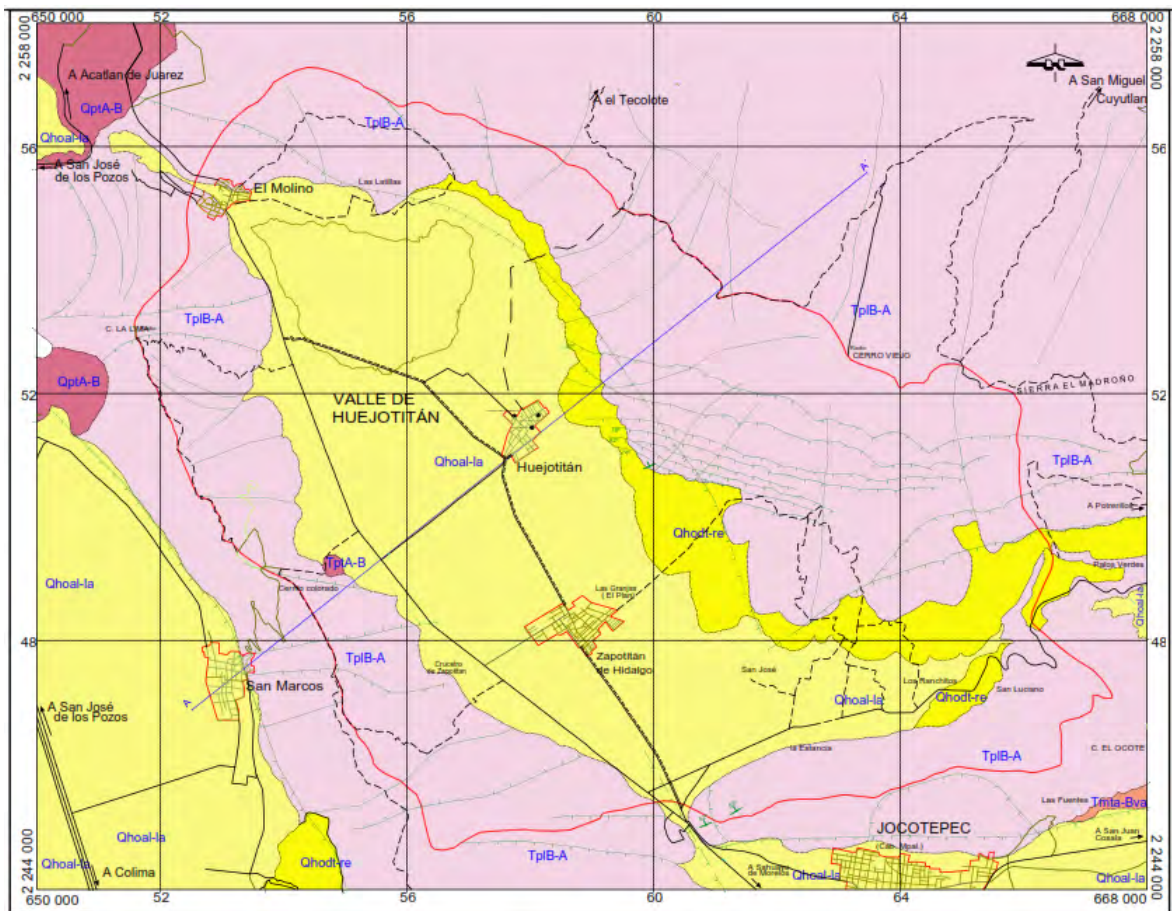


Figura 9. Plano geológico del área de estudio.

4.2 Correlación geológico-geofísica

Tomando como base en la información geológica, obtenida en los trabajos de campo, se propusieron tres secciones geofísicas en las cercanías del poblado de Huejotitán, distribuidas como se muestra en la figura 10 las cuales se realizaron con 15 sondeos eléctricos verticales, determinándose 4 unidades U1, U2, U3 y U4, para la sección H1, mientras que en las secciones H2 y H3 la unidad U2 se subdividió en U2a y U2b, además de que no aparece la unidad 3, lo anterior obedece a que al ser una interdigitación de los depósitos aluviales, lacustres y de talud, las variaciones litológicas se darán en un corto espacio.

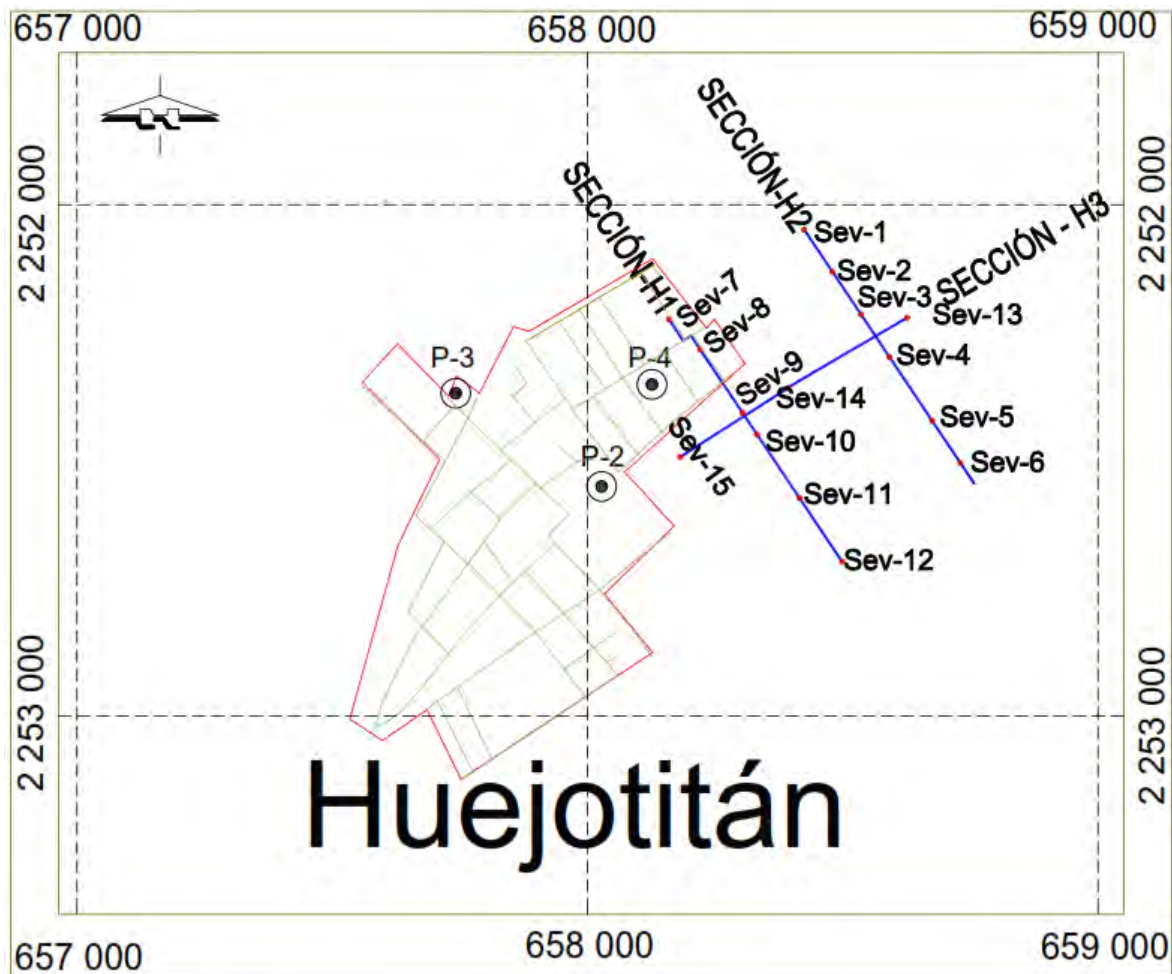


Figura 10. Localización de las líneas geofísicas.

A continuación se describen a las unidades geofísicas con su relación al subsuelo:

Unidad geofísica U1

Esta unidad presenta resistividad de los 11 a los 163 Ω -m, Se asocia con una mezcla de materiales formada por la cubierta de suelo y los depósitos de talud, con un espesor máximo de 27 m. Los valores resistivos indican un contenido arcilloso, con zonas saturadas.

Unidad geofísica U2

Esta unidad se ubica bajo la unidad U1 y bien pudiera asociarse a la misma, sin embargo sus valores resistivos presentan tres intervalos bien definidos con los cuales se establecieron las subunidades: U2A, U2B y U2C, descritas a continuación:

Subunidad U2A

Manifiesta resistividades de 30 a 65 Ω -m, con un espesor máximo de 121 m localizado en el cadenamiento 0+450 de la sección H2. Sus valores resistivos indican la posibilidad de ser un material areno arcilloso, permeable y saturado.

Subunidad U2B

Su presencia se restringe a las secciones H2 y H3, tiene resistividades de 66 a 119 Ω -m y un espesor máximo de 75 m. Por sus valores se considera que es un material de arenas con arcillas permeable y seco.

Subunidad U2C

Se determinó desde el cadenamiento 0+000 de la sección H3, hasta el cruce con la sección H1. Tiene resistividades de 14 a 17 Ω -m y un espesor máximo de 42 m. Por sus valores se estima que tiene un predominio arcilloso, y consecuentemente como un material impermeable.

Unidad U3

Manifiesta una gran presencia sobre las secciones H1 y H3, alcanzando un espesor de hasta 257 m, sin embargo en la sección H2 no se encontró. Sus valores resistivos van de 13 a 27 Ω -m, los cuales se asocian a un contenido predominantemente arcilloso y en consecuencia con un material impermeable. Sobre la sección H3, puede asociarse a una posible estructura. Este material bien puede servir como sello y evitar que el agua almacenada en la **U2A** se filtre hacia abajo.

Unidad U4

Se determinó en las tres secciones de estudio, manifestando cierta tendencia a aflorar hacia el extremo final de la sección H3 (SEV 13) y a profundizarse hacia el inicio de la misma sección (SEV 15). Tiene resistividades que van de 26 a 74 Ω -m, mostrando mucha uniformidad sobre la sección H2, mientras que sobre la sección H1 exhibe una variación lateral, asociada a una interfase lateral que afecta también a las unidades U2 y U3. Se correlaciona con el basamento rocoso del área, el cual puede ser de tipo basáltico o andesítico, que puede estar fracturado y compacto. En la sección H3, es evidente la profundización de esta unidad, lo cual puede asociarse a la presencia de una posible falla.

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS DE ABASTECIMIENTO

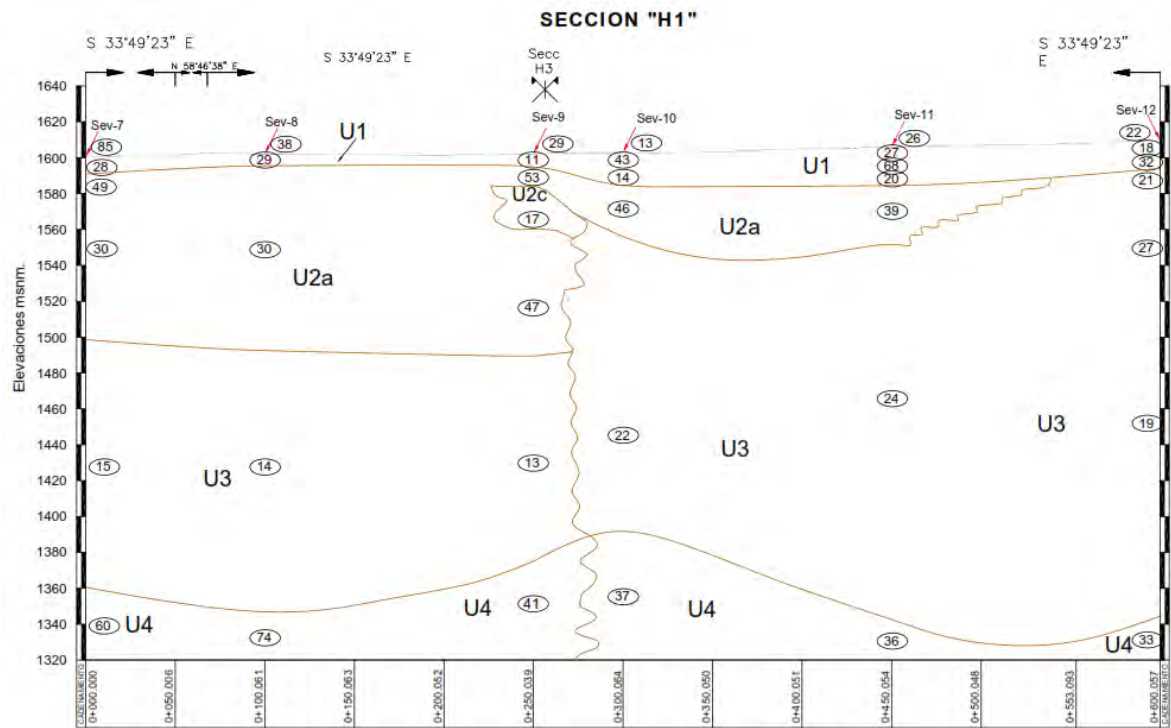


Figura 11. Sección geofísica H1

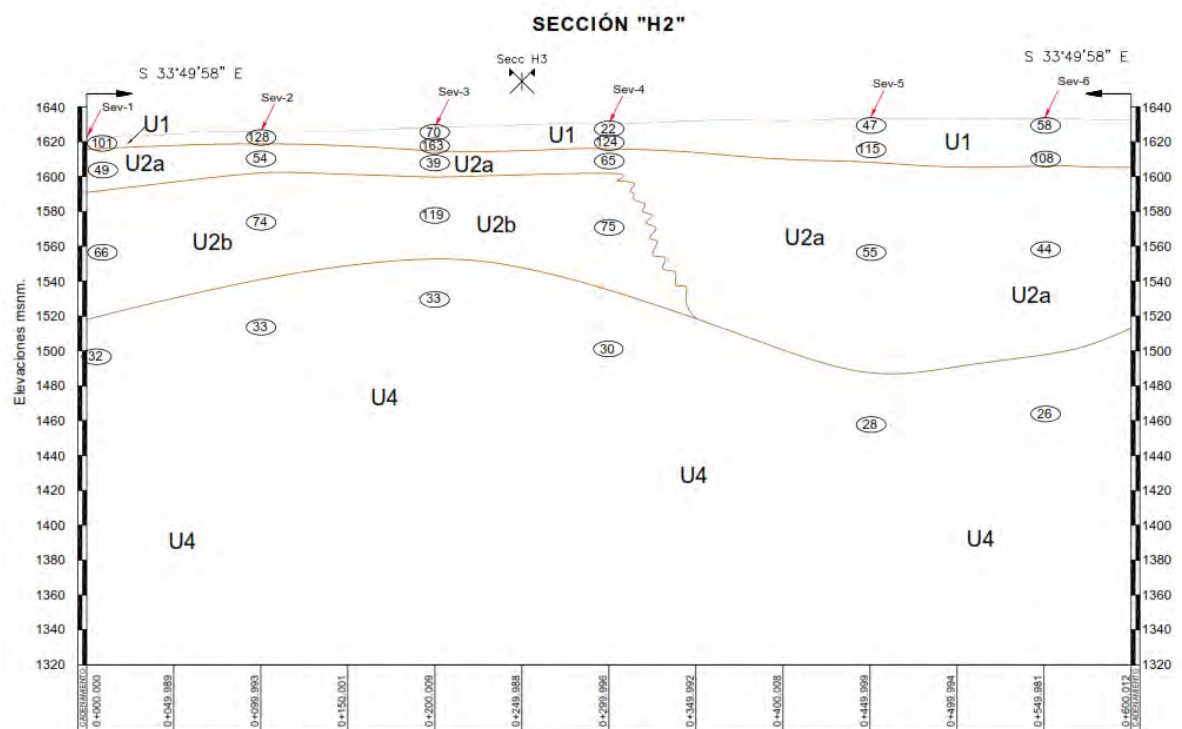


Figura 12. Sección geofísica H2

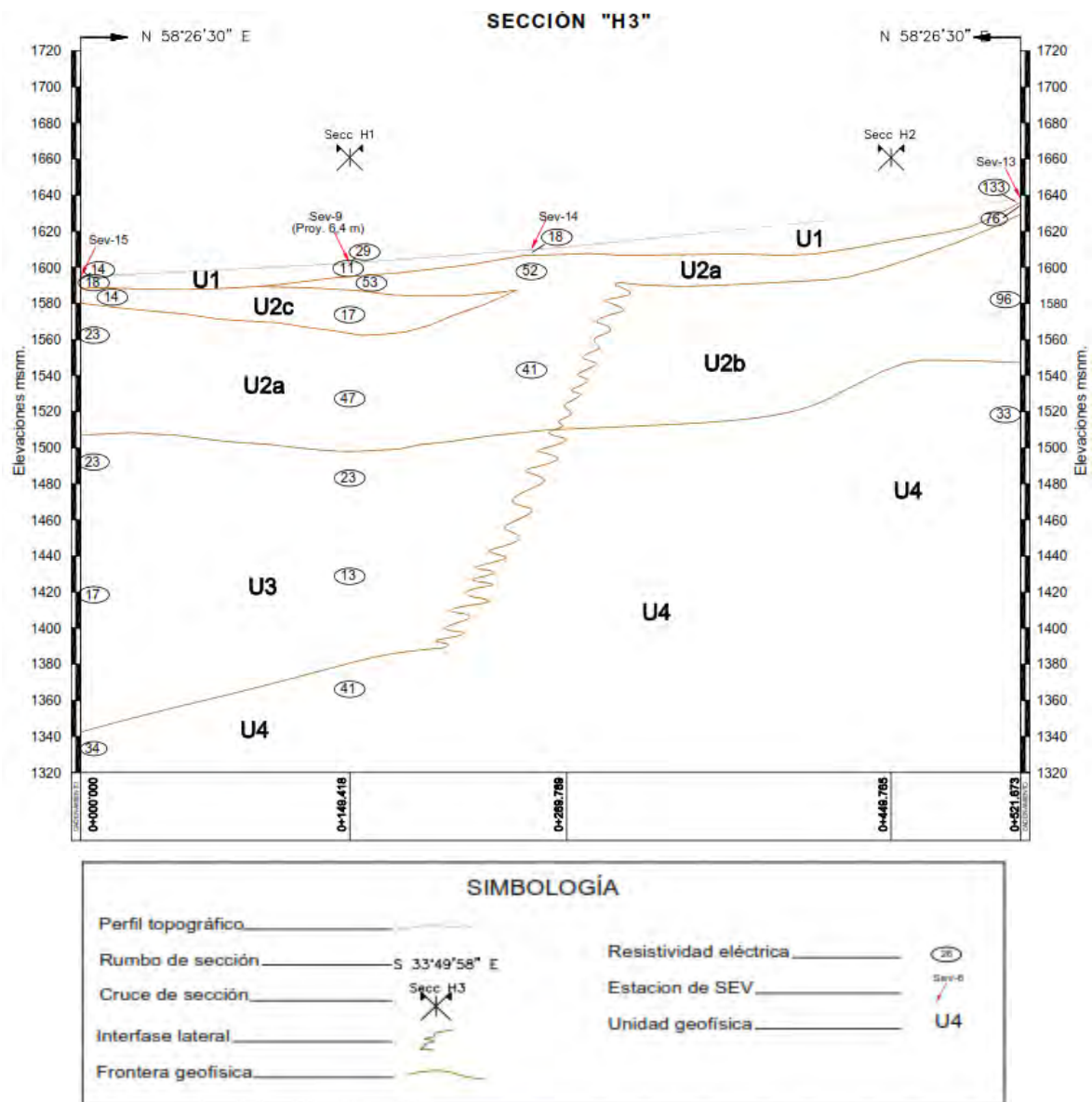


Figura 13. Sección geofísica H3

4.3 Hidrogeología

Se llevo a cabo un censo de aprovechamientos en el área de estudio, el cual consistió en un recorrido, visitando los más representativos de la zona, con el fin de identificar el tipo de aprovechamientos así como sus características constructivas, uso y forma de operación.

Se localizaron un total de 25 aprovechamientos, de los cuales 16 son pozos y 9 son norias.

En la tabla 3 se muestran los datos del censo realizado, algunos no cuentan con información del nivel estático ni dinámico debido a que los pozos no cuentan con la infraestructura correspondiente para introducir la sonda.

La distribución espacial de los aprovechamientos se muestra en la figura 14 los cuales se concentran en su gran mayoría entorno al poblado de Huejotitán.

De acuerdo al censo de aprovechamientos realizado se obtuvo que la profundidad del nivel de agua en los pozos varía desde 3.39 m hasta 16.1 m, en el pozo P6 y P4 respectivamente. Los pozos en su mayoría, son explotados mediante bombas sumergibles con caudales entre 0.5 a 10 l/s, el principal uso es para riego y en menor proporción para abasto a la población. El agua extraída es fresca (menos de 1000 mg/l, de sólidos disueltos totales), con temperaturas que van desde los 21.5° C y 24.1°C, con conductividad eléctrica de 403 $\mu\text{s}/\text{cm}$ hasta 945 $\mu\text{s}/\text{cm}$, que se consideran normal para agua subterránea.

Los aprovechamientos tipo norias se explotan manualmente y en ocasiones con pequeñas bombas para abastecer el domicilio en donde se encuentran. La profundidad del nivel del agua varía de 3.42 a 7.79, con temperaturas de 21°C a 26°C, con conductividad eléctrica con valores de 286 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 1047 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ninguna noria cuenta con protección sanitaria estando expuestas a factores de contaminación por residuos de la presencia de fauna nociva como murciélagos, serpientes y animales domésticos.

En la tabla 3 se muestra el resumen del censo de aprovechamientos indicando la ubicación con coordenadas UTM, parámetros de campo, así como su caudal extraído.

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO

| NOMBRE | COORDENADAS UTM | | | N.E (m) | TEMPERATURA (°C) | C.E (µs/cm) | USO | PROPIETARIO Y/O UBICACIÓN |
|---------------|-----------------|----------|------|---------|------------------|-------------|-----------|---------------------------|
| | POZOS | X | Y | | | | | |
| P-1 | 658099 | 2251074 | 1540 | 15.8 | 21.5 | 498 | | POTRERO LA CRUZ |
| P-2 | 658029 | 2251482 | 1580 | 10.3 | 24.1 | 403 | POTABLE | HACIENDA |
| P-3 | 657740 | 2251661 | 1585 | 7.1 | 22.9 | 467 | POTABLE | DEL PUEBLO |
| P-4 | 658128 | 2251682 | 1595 | 16.1 | 23.3 | 696 | POTABLE | GALLOS |
| P-5 | 657724 | 2251397 | 1585 | 4.75 | 21.8 | 945 | AGRICOLA | RAMON MENDOZA |
| P-6 | 657626 | 2251448 | 1590 | 3.39 | * | * | * | ROBERTO DELGADO |
| P-7 | 657828 | 22513315 | 1582 | * | 22.6 | 525 | POTABLE | ESCUELA |
| P-8 | 657615 | 2251057 | 1583 | 5.26 | * | * | * | ANTONIO VENEGAS |
| P-10 | 658278 | 2252574 | 1616 | * | * | * | * | ING. ARELLANO |
| P-11 | 658226 | 2253784 | 1631 | * | * | * | * | RIGOBERTO ZUÑIGA |
| P-12 | 657764 | 2250040 | 1600 | * | * | * | * | AURELIO FLORES |
| P-13 | 658126 | 2250797 | 1606 | * | * | * | * | FRANCISCO MORALES |
| P-14 | 658972 | 2248431 | 1588 | * | 21.9 | 608 | POTABLE | ZAPOTITAN CALLELENDE |
| P-15 | 619152 | 2248502 | 1606 | * | 23.9 | 379 | POTABLE | ZAPOTITAN EXTRAMUROS |
| P-16 | 658269 | 2248711 | 1607 | * | 21.8 | 587 | POTABLE | ZAPOTITAN CAMINO REAL |
| P-17 | 658762 | 2248458 | 1604 | * | 22.6 | 610 | POTABLE | ZAPOTITAN CALLE JUAREZ |
| NORIAS | | | | | | | | |
| N-1 | 658034 | 2251302 | 1574 | * | * | * | S/USO | FRANCISCO GONZALEZ |
| N-2 | 657884 | 2251518 | 1585 | 4.22 | 20.4 | 465 | DOMESTICO | MARIA JIMENEZ |
| N-3 | 657818 | 2251600 | 1583 | 3.84 | 20.3 | 286 | DOMESTICO | CECILIA VELENCIA |
| N-4 | 657891 | 2251568 | 1587 | 3.99 | 21.8 | 848 | DOMESTICO | ALICIA LOPEZ |
| N-5 | 657887 | 2251581 | 1594 | 3.82 | 20.6 | 853 | DOMESTICO | DAVID VERGARA |
| N-6 | 657846 | 22511647 | 1593 | 4.34 | 22.3 | 712 | DOMESTICO | ODON VALENCIA |
| N-7 | 667712 | 2251137 | 1590 | 6.95 | 23 | 395 | DOMESTICO | ANTONIO GUDIÑO |
| N-8 | 657751 | 2251146 | 1391 | 7.79 | 22 | 1047 | DOMESTICO | LOS GATOS |
| N-9 | 657614 | 2252919 | 1589 | 3.42 | 22.3 | 295 | AGRICOLA | GABRIEL VELASQUEZ |

*Nota: no se pudo obtener el dato debido a que el pozo no contaba con dispositivo para medirlo.

Tabla 3. Resumen de los aprovechamientos censados.

Para la ubicación de cada punto se utilizó el procedimiento tradicional y convencional con equipo topográfico de estación total marca Leica modelo TC-407, con precisión de más o menos 5 mm al Km, y precisión angular de 5 seg., con un alcance de medición de 5 Km., así como un GPS marca Leica Viva en la modalidad de tiempo real (una base y un móvil) por el cual a través de la información recabada se definieron los valores (X, Y, Z) después de haber efectuado el proceso de cálculo.

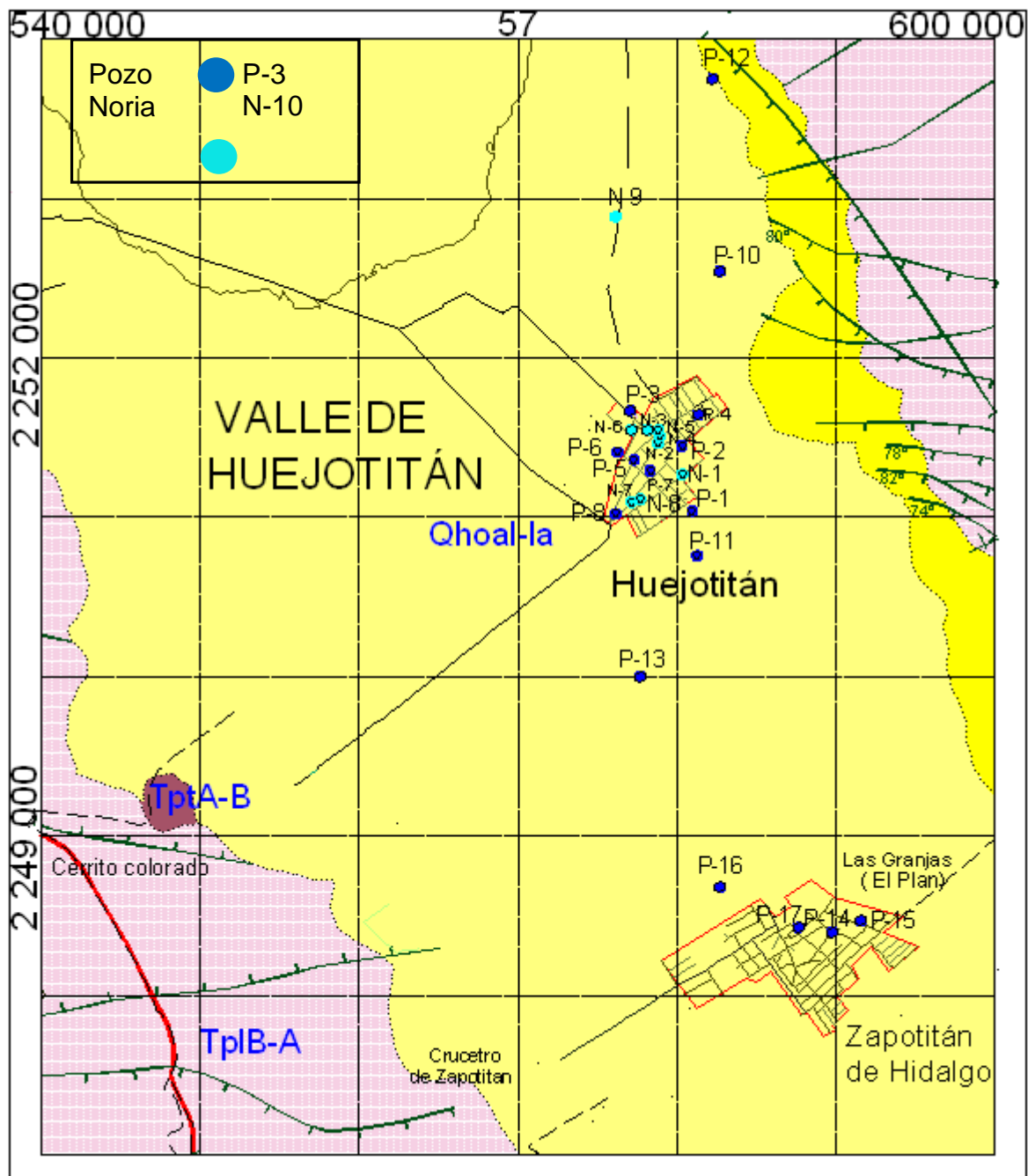


Figura 14. Localización de los pozos y norias.

4.4 Hidrogeoquímica

Para determinar la calidad química del agua a aprovechar se requiere cumplir con la norma oficial mexicana NOM-127-SSAI-1994, "Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe

someterse el agua para su potabilización", por lo cual se llevo a cabo la recolección de muestras de agua de varios pozos del lugar con la finalidad de determinar sus características químicas y ayudar a elegir el mejor sitio para la perforación del pozo.

Durante este estudio se realizo una campaña para la toma de muestras de agua subterránea, el día 22 de julio de 2011, de acuerdo al análisis de la información obtenida del censo de aprovechamientos de agua, cabe mencionar que dicho muestreo fue realizado por personal del Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua de la GEIC (Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra) siguiendo el procedimiento interno CCCC3-01 (Toma de muestras de agua subterránea) del manual de control de calidad del mencionado laboratorio.

Se colectaron 7 muestras que corresponden a cinco pozos y dos norias, durante la recolección de muestras de agua, se determinó con la ayuda de equipos portátiles marca HANNA los parámetros de: temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica.

En el Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua de la GEIC, las muestras se analizaron para determinar los siguientes parámetros: sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos fijos, sólidos suspendidos volátiles, carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad total, cloruros, nitratos, sulfatos, nitritos, además de sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, sílice y dureza total. Por el contenido de sólidos disueltos totales (SDT), que presento el agua en el rango de 227.1 mg/l (noria N-3) a un máximo valor de 618.5 mg/l (pozo P-8) ubicados en el poblado de Huejotitán, corresponde a la clasificación de agua dulce (agua dulce o fresca de 0 a 1000 mg/l), según la clasificación de Davis y de Wiest (1967), así mismo corresponde a la clasificación de agua moderadamente dura (de 61 a 120 mg/l como $(CaCO_3)$ con tendencia a variar al tipo de agua dura (de 121 a 180 mg/l) o a muy dura como es el caso de noria N-4 donde la dureza total alcanzó un valor de 388.7 mg/l. Con el objeto de definir el origen del agua subterránea presente en el área de estudio, se clasificaron y agruparon las muestras de agua en función de sus iones dominantes (Ca, Mg, Na, K, CL, HCO_3 y SO_4), contenido en sólidos totales disueltos (STD), la dureza total y los elementos de menores concentraciones.

Por la presencia de aniones dominantes como los bicarbonatos (HCO_3) y los cationes como el sodio (Na) el calcio (Ca) se clasifica según A.M. Piper (1944) como agua del tipo Cálcica-Bicarbonatada (Ca- HCO_3).

Los resultados de dichos análisis químicos de muestras de agua se muestran en la tabla 4

El contenido de aniones y cationes de las muestras de agua se presentan en la tabla 4, de los resultados reportados se observa que el agua de los aprovechamientos muestreados tiene una concentración de sólidos totales disueltos que varía de 227.1 mg/l a 618.5 mg/l correspondiendo estos valores a la noria N-3 y al pozo P-8, en lo que se refiere a la conductividad eléctrica, se registraron valores de 281 Ms/cm (N-3) y 563 Ms/cm (P-8).

| Num. de muestra | Punto de Muestreo | Temperatura °C | pH | Conductividad Eléctrica (µS/cm) | CATIONES | | | | ANIONES | | | | DUREZA TOTAL | STD | SIGR | TIPO DE FAMILIA |
|-----------------|-------------------|----------------|------|---------------------------------|----------|------|------|------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|-------|------|--------------------|
| | | | | | Na+ | K+ | Ca++ | Mg++ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | | | | |
| | | | | | mg/l | | | | Mg/l | | | | | | | |
| 1 | Pozo 4 | 23.3 | 6.89 | 439 | 17 | 5.6 | 49 | 21.8 | 246.63 | 7.9 | 7.57 | 29.55 | 196.3 | 312 | 58.5 | CaHCO ₃ |
| 2 | Noria 4 | 24.4 | 7.4 | 831 | 34 | 17.8 | 82 | 44.4 | 332.95 | 63.6 | 46.9 | 51.85 | 388.7 | 572 | 67.3 | CaHCO ₃ |
| 3 | Noria 3 | 20.6 | 7.79 | 281 | 16 | 3.4 | 24 | 11.1 | 129.11 | 6.4 | 5 | 4.97 | 106.2 | 227.1 | 62.5 | CaHCO ₃ |
| 4 | Pozo 3 | 25.6 | 7.42 | 383 | 16 | 4.8 | 37 | 19.3 | 253.78 | 6.4 | 5 | 4.97 | 172.7 | 279.4 | 72.1 | CaHCO ₃ |
| 5 | Pozo 2 | 23 | 6.97 | 537 | 18 | 3.8 | 49 | 24.6 | 242.33 | 10.3 | 22.4 | 42.61 | 223.4 | 362.8 | 72.8 | CaHCO ₃ |
| 6 | Pozo 5 | 23 | 7.13 | 768 | 28 | 4.7 | 74 | 37.4 | 345.19 | 24.9 | 5 | 41.7 | 337.9 | 458.3 | 77.6 | CaHCO ₃ |
| 7 | Pozo B | 23.7 | 7.19 | 563 | 21 | 3.4 | 62 | 30.4 | 324.96 | 21 | 21.5 | 26.55 | 279.5 | 618.5 | 77.3 | CaHCO ₃ |
| | MIN | 20.6 | 6.89 | 281 | 16 | 3.4 | 24 | 11.1 | 129.11 | 6.4 | 5 | 4.97 | 106.2 | 227.1 | 58.5 | |
| | MAX | 25.6 | 7.79 | 831 | 34 | 17.8 | 82 | 44.4 | 345.19 | 63.6 | 46.9 | 51.85 | 388.7 | 618.5 | 77.6 | |

Tabla 4. Resultados de análisis químicos

Para ver la distribución en que se dan de forma individual los iones mayores, su análisis se llevo a cabo a través del método grafico de Stiff que consiste en colocar gráficamente las concentraciones expresadas en mili-equivalentes, de los cationes hacia la izquierda de un eje vertical, mientras que los valores de los aniones se colocan hacia el lado derecho. De acuerdo a los valores mayores, hacia ambos lados, se determina la predominancia de uno y otro, con lo que se establece las características y el tipo de agua. Con base en lo anterior se tiene que el agua analizada pertenece al tipo de cálcica – bicarbonatada. En las figuras 15 y 16 se muestran la distribución de diagramas de Stiff y A. M. Piper para estos dos aprovechamientos.

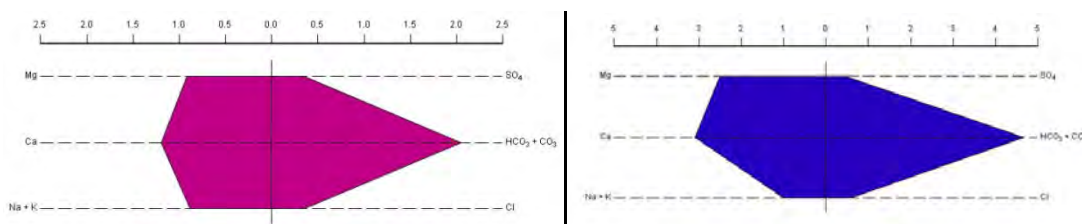


Figura 15.- Diagramas de Stiff, noria N-3 y pozo P-8

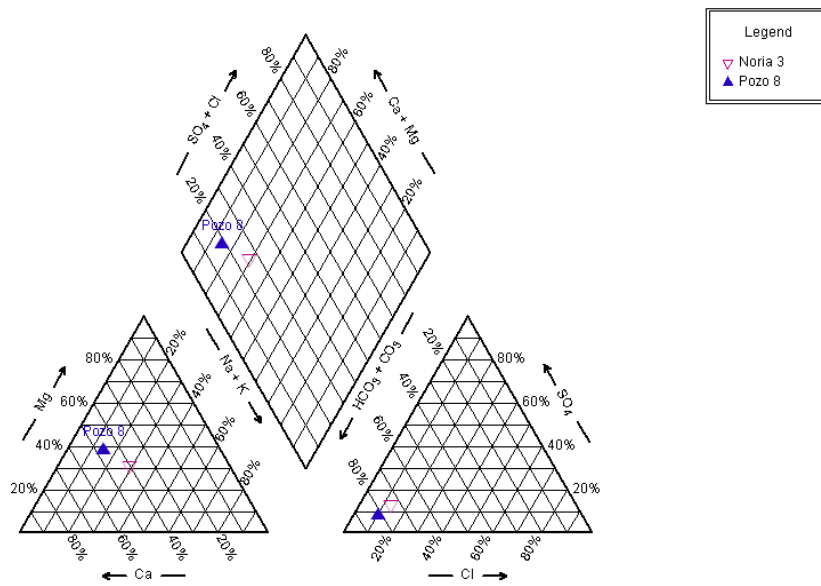


Figura 16. Diagrama de A.M. Piper

Para analizar el conjunto de los resultados del laboratorio; se utilizó el software AquaChem, propiedad de Waterloo Hydrogeologic, Inc., en estas figuras, se observa una línea de tendencia evolutiva desde un agua Cálculo-Bicarbonatada hacia una agua Mixta con un enriquecimiento de Bicarbonatos y Sodio.

Familia Cálculo - Bicarbonatada: Corresponde a la interacción del agua con rocas ígneas, presentando Sólidos Totales Disueltos menores a 1000 mg/l, este tipo de agua se presenta en todos los aprovechamientos muestreados (Figuras 17 y 18, Diagramas de A.M Piper y Schoeller).

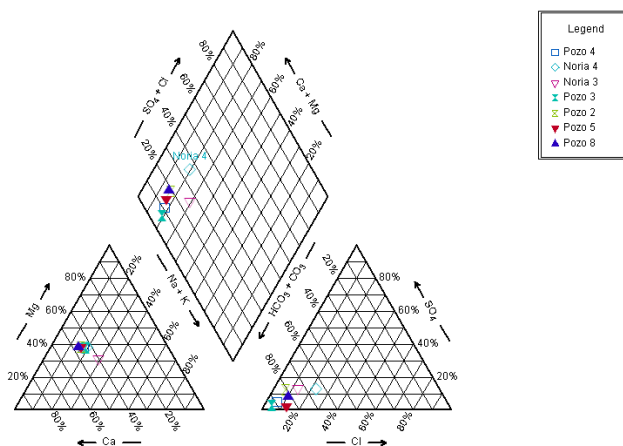


Figura 17. Diagrama de A.M. Piper

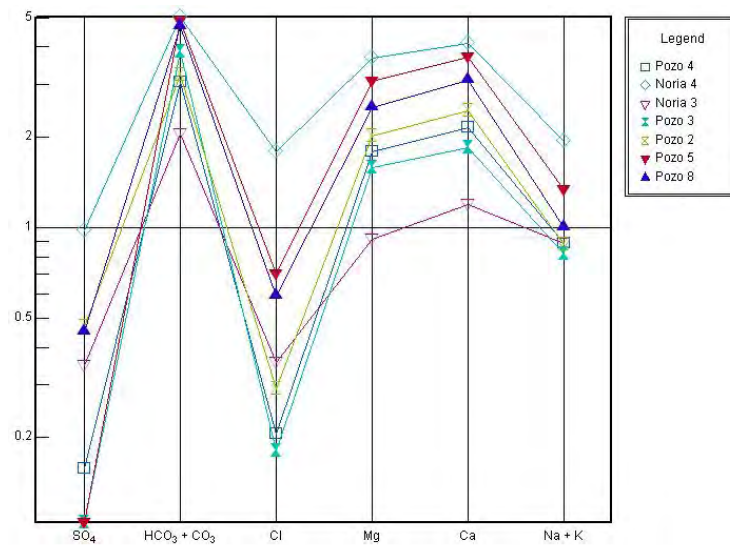


Figura 18. Diagrama de Schoeller

A continuación se realiza una comparación de los valores determinados de las muestras de agua de los aprovechamientos muestreados, con los valores de la norma oficial mexicana NOM-127-SSAI-1994, denominada “Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”.

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO

| CARACTERÍSTICA | LIMITE DE LA NORMA | VALORES EXTREMOS Y OBRAS A LA QUE CORRESPONDE | |
|---|--------------------|---|------------------|
| | | MINIMO | MAXIMO |
| Características microbiológicas | | | |
| Coliformes fecales | 0 | 4 Pozo P-5 | ≥10000 Noria N-4 |
| Coliformes totales | 0 | 8 Pozo P-2 | >10000 Noria N-4 |
| Características físicas y organolépticas | | | |
| Color | | No se determino | |
| Olor y sabor | Agradable | No se determinó | |
| Turbiedad | 5 UTN | <1.0 Pozo P-4 | 5.09 Pozo P-4 |
| Características químicas | | | |
| Aluminio | 0,20 | 0.04 en la mayoría | 1359 Pozo P-4 |
| Arsénico | 0,005 | 0.003 Pozo P-4 | 0.004 Pozo P-5 |
| Bario | 0,70 | < 0.2 | < 0.2 |
| Cadmio | 0,005 | < 0.00011 | < 0.0001 |
| Cianuros (como CN ⁻) | 0,07 | <0.002 | <0.002 |
| Cloruros (como Cl ⁻) | 250,00 | 6.4 Pozo P-3 | 63.6 Noria N-4 |
| Cobre | 2,00 | <0.05 | <-0.05 |
| Cromo total | 0,05 | < 0.10 | <0.10 |
| Dureza total (como CaCO ₃) | 500,00 | 100.2 Noria N-3 | 388.7 Noria N-4 |
| Fenoles o compuestos fenólicos | 0,3 | < 0.005 Pozo P-4 | < 0.01 Pozo P-3 |
| Fierro | 0,30 | 0.022 Pozo P-4 | <0.05 Pozo P-2 |
| Manganeso | 0,15 | < 0.05 Noria N-4 | 0.16 Noria N-4 |
| Mercurio | 0,001 | < 0.0010 | 0.004 Pozo P-5 |
| Nitratos (como N) | 10,00 | < 0.01 Noria N-1 | 4.54 Noria N-4 |
| potencial de hidrógeno en unidades de pH | 6,5-8,5 | 6.83 Pozo P-4 | 7.79 Noria N-3 |
| Plomo | 0,01 | < 0.10 | < 0.10 |
| Sodio | 200,00 | 16.0 Pozo P-3 | 34.0 Noria N-4 |
| Sólidos disueltos totales | 1000,00 | 227.1 Noria N-3 | 618.50 Pozo P-8 |
| Sulfatos (como SO ₄ ⁻) | 400,00 | 5.0 Pozo P-3 | 46.9 Noria N-4 |
| Zinc | 5,00 | <0.02 Noria N-3 | 0.26 Pozo P-4 |

Tabla 5. Comparación de las características físicas químicas y bacteriológicas del agua subterránea con los valores de la norma NOM 127-SSA1-1994.

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Las características Bacteriológicas en todos los sitios el agua presenta bacterias coliformes fecales de 8 UFC/100 ml, valor registrado en el pozo P-2 ubicado en el predio de la hacienda a 10000 UFC/100 ml en la noria N-4, localizada al noroeste del poblado Huejotitán, y totales de 4 UFC/100 ml en el pozo P-5 ubicado al suroeste del poblado Huejotitán a 10000 UFC/100 ml en la noria N-4, localizada en la casa habitación de la Sra. Alicia López de Huejotitán, que son contenidos altos, que indican la incidencia de fecales humanos o de animales, que por lo somero del nivel freático y con la lluvia se infiltran, no siendo recomendable para el uso y consumo humano (La norma oficial indica que estas bacterias deben de estar ausentes).

4.5 Modelo conceptual

En el modelo conceptual hidrogeológico se intenta definir las unidades acuíferas y sus principales características geométricas así como su extensión y espesor a partir de elementos como la geología del área y la geofísica realizada.

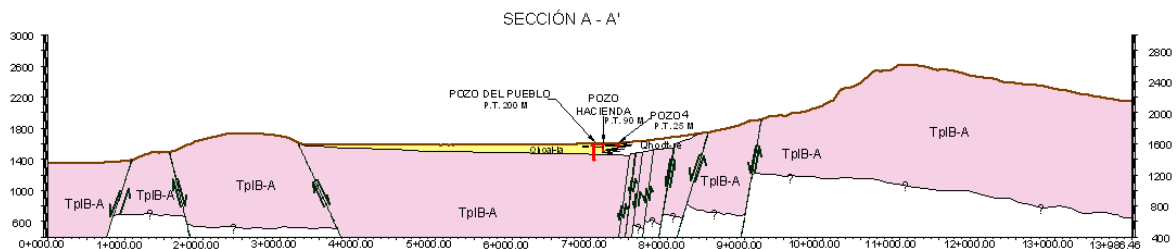
En el modelo hidrogeológico también se pretende definir las direcciones de flujo así como las zonas de recarga posibles, la cantidad y calidad del agua subterránea, este modelo resulta de integrar todos los elementos de la metodología con la finalidad de representar gráficamente mediante la elaboración de planos y secciones, la configuración del acuífero en el subsuelo.

De acuerdo a la información recopilada y a los recorridos en campo se observó que existe una unidad clasificada como semipermeable a permeable que corresponde con la Unidad Andesita-Basalto, que por estar fuertemente fracturada por fallamiento se convierte en unidad almacenadora con un espesor máximo estimado con geofísica de 800 m y que se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio.

Los depósitos aluviales y lacustres pueden formar acuíferos locales por su alta permeabilidad, sin embargo su capacidad de almacenar agua es limitada, y su espesor es del orden de los 100 m en la parte central de la cuenca, esta unidad se encuentra sobreyaciendo a las rocas volcánicas y se localiza en la parte central de la cuenca.

El flujo subterráneo es de sur hacia el noroeste de la zona de estudio, ocurriendo la recarga por infiltración por lluvia en las zonas altas de la sierra del Madroño, así como las sierras que rodean al valle.

De acuerdo a la integración geológico geofísica, se realizó una sección perpendicular al eje mayor de la cuenca, para observar el comportamiento de las unidades geológicas y relacionarlas con las unidades geofísicas determinadas, por lo tanto en forma general, el relleno de la cuenca está compuesto por depósitos lacustres, aluviales y de talud, incrementándose el espesor del relleno hacia la Sierra del Madroño y disminuyendo en sentido contrario. La unidad TplB-A, que se considera es la unidad saturada se profundiza a mas de 200 metros en el sitio propuesto, además de que en este mismo sitio, los materiales de las unidades Qhoal y Qhodt, se unen y presentan alternancia entre materiales permeables y poco permeables.(Figura 19).



Sección A-A´

Figura 19. Ubicación de la perforación

Conociendo las características encontradas en el subsuelo, se elegirá el sitio a perforar, tomando en consideración todos los puntos anteriores y también debe contar con los permisos necesarios para ubicar la maquinaria que se requiere para realizar los trabajos de perforación.

De acuerdo al estudio de disponibilidad de agua de la CONAGUA, para este acuífero existe un volumen disponible de 5.2 Mm³/año, lo cual nos indica que el pozo puede realizarse para explotar este acuífero con el caudal requerido de 3.5 l/s o un volumen de 0.110 Mm³/año, si el pozo operara las 24 horas todos los días del año.

Con la información analizada, así como los datos e interpretaciones de geología, geofísica e hidrogeológica se determinó el sitio para la perforación del pozo que abastecerá a la población de Huejotitán.

Este sitio está constituido por sedimentos lacustres con espesor variable de hasta 250 m, la dirección preferencial del flujo de agua subterráneo es desde la sierra hacia las partes bajas de la cuenca, el agua circula a través de diversos

materiales como basaltos alterados y boleos hasta llegar a las partes bajas donde fluye a través de depósitos aluviales.

El sitio elegido para perforar resultado de aplicar la metodología antes descrita, el cual se localiza sobre la sección geológica-geofísica H1 en el SEV 10 aproximadamente a 400 m al sureste de la antena telefónica que se encuentra en el poblado de Huejotitán, como lo muestra figura 20.

En este sitio se ubican a profundidad las dos unidades identificadas como productoras las cuales son TplB-A y en menor medida la unidad Qhoal.

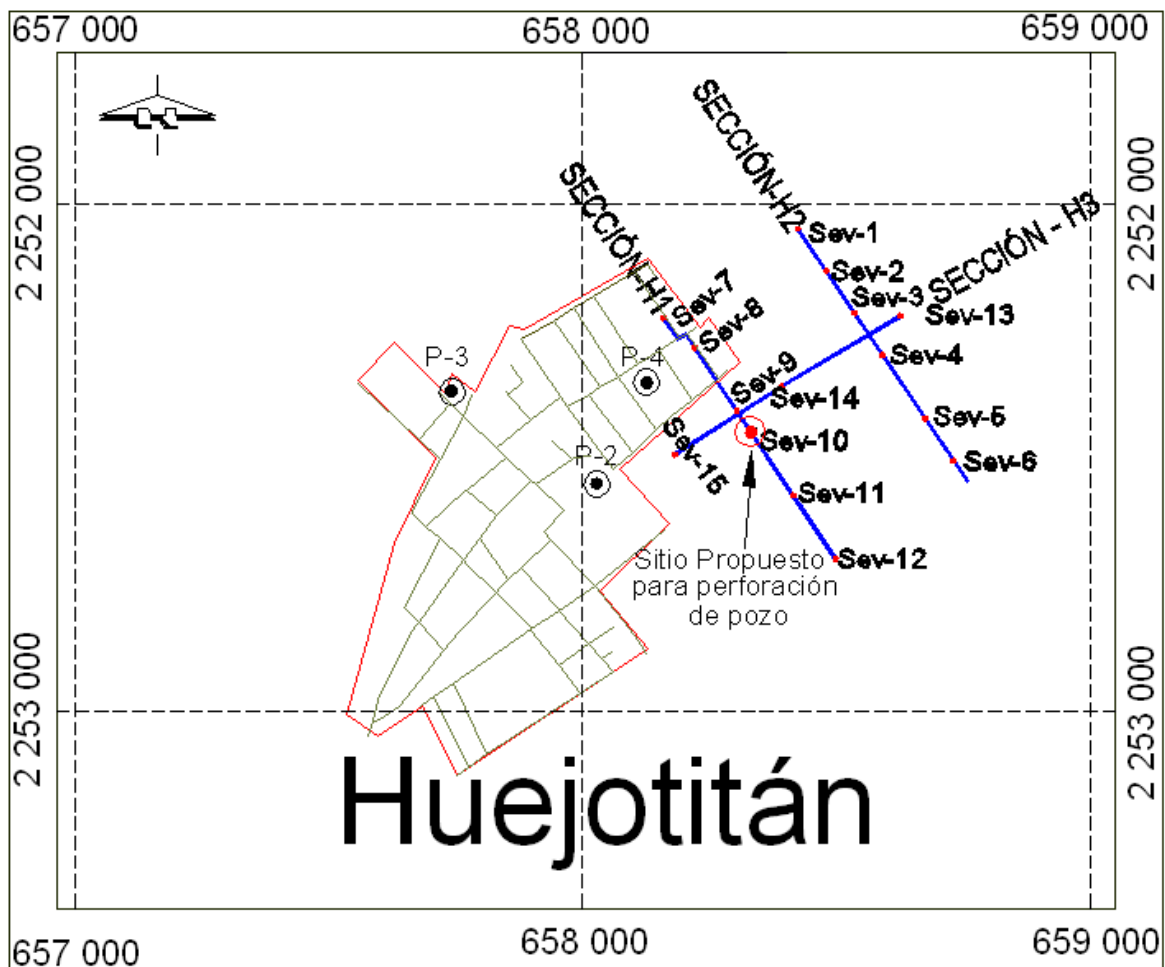


Figura 20. Localización del sitio a perforar

El pozo debe ser perforado a 250 m de profundidad para explotar las unidades litológicas de Qhoal, y TplB-A.

4.7 Diseño de terminación del pozo

Se elige el método de perforación más conveniente para el tipo de terreno, pues en un mismo terreno podemos encontrar diversos materiales que requieren distintas técnicas de perforación como pueden ser de percusión, de rotación o combinado. En este caso se recomienda utilizar perforadora rotaria ya que, la perforación de percusión presenta limitaciones en cuanto a profundidad y diámetros, para formaciones no consolidadas la velocidad de penetración es muy lenta, por lo tanto es un método que es más barato pero el avance es lento.

Los recortes de la perforación se analizan a cada cierto número de metros dependiendo la precisión del corte litológico que se desee obtener, así se describe el material que se va perforando para tener un registro litológico del pozo.

El diseño del pozo se efectuó con base en las características geológicas del sitio, y se propone un diseño con el cual se garantice la vida útil del pozo y una calidad de agua de acuerdo a la norma.

El pozo debe ser perforado a 250 m de profundidad para explotar las unidades litológicas de Qhoal, y TplB-A.

El pozo debe tener un ademe de acero de 10 pulgadas de diámetro con una sobreelevación por encima del terreno del suelo en cuando menos 0.50 m, tal como lo establece la NOM-003-CNA-1996 (Requisitos para la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos) debe contar con los primeros 10 metros de tubería lisa y el resto ranurados con abertura de 2 mm tipo canastilla, se debe engravar con arena redondeada de 4 a 6 mm de diámetro.

El diseño constructivo del pozo se muestra en la figura 21

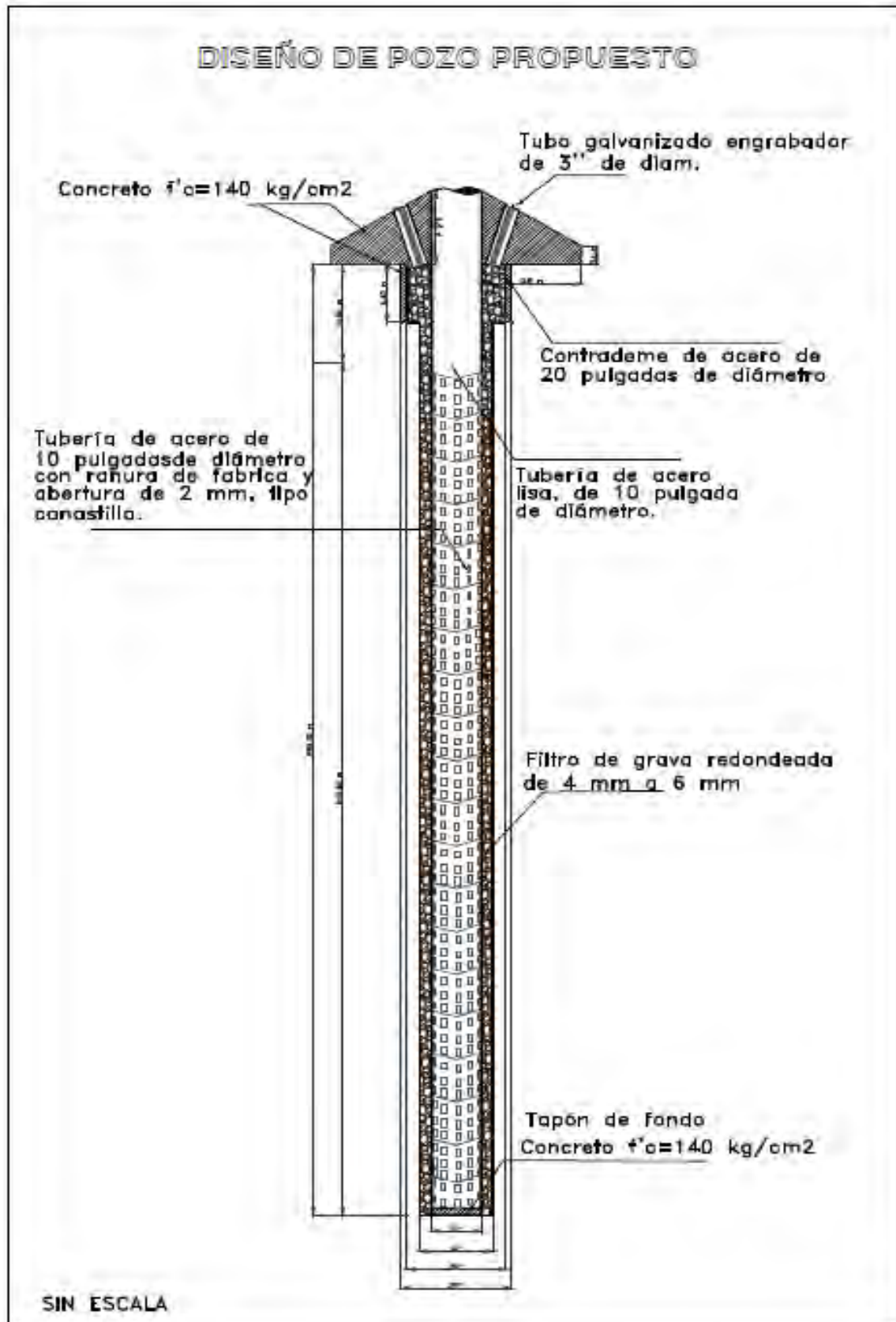


Figura 21. Diseño constructivo del Pozo

4.8 Costos

Dentro de los costos debe considerarse varios aspectos como los gastos de la empresa perforadora, la depreciación de los equipos utilizados, la mano de obra directa e indirecta, consumibles, traslado de equipo y de personal, etc., de manera que los costos de perforación de pozos son muy variables pues dependen de la profundidad a la que se requiera perforar, además del material que se encuentre en el subsuelo, el diámetro en el que se requiera el pozo, el sitio que se eligió para perforar, es decir, si hay camino de acceso para la maquinaria o si es necesario abrir uno.

El costo de la perforación es independiente de los costos que se generan por el estudio de ubicación del sitio.

En el mercado existe una gran oferta de servicios por estos conceptos de manera que, se hablará a grandes rasgos de los costos de perforación para este pozo.

Con el diseño propuesto el costo del pozo se desglosa a continuación con una breve descripción de cada concepto:

- **Traslado terrestre de personal de perforación.** actividades para el traslado de personal al sitio de la perforación, así como los equipos auxiliares de la perforación.
- **Movimiento de equipo de perforación.** desde el almacén de la compañía hasta el sitio de perforación.
- **Acarreo de materiales.** Esta actividad incluye traslado y descarga en el proyecto de materiales necesarios para el inicio de la perforación como pueden ser los materiales para fabricación de fluidos de perforación (bentonita, espumante, polímeros etc), brocas, martillos neumáticos, rimas u otros.
- **Instalación y desmantelamiento de equipo.** Se trata de todas las actividades necesarias para instalar y nivelar el equipo de perforación en el sitio de perforación del pozo.
- **Perforación de pozo a 12”.** Esta actividad incluye la fabricación del fluido de perforación para lubricar la herramienta de corte, así como el desalojo de recortes del pozo. Esta actividad se divide de acuerdo a la profundidad y a la dureza de los materiales a perforar, debido a que en ambos casos inciden en el rendimiento y por lo tanto en el precio. Los precios unitarios se dividen por profundidad de 0 a 100 y de 100 a 200 metros y de acuerdo a la dureza de la siguiente forma: 1) material de tipo I suave (suelo, arena, arcilla etc.) 2) material tipo II para los medios (caliza, lutitas etc.), y 3) material tipo III para los duros (basaltos, cuarcitas, etc.). En toda la perforación se recolectaran muestras a cada 3 metros preservándolas en

bolsas de plástico, salvo los intervalos que por pérdida del fluido de perforación no se pueda obtener la muestra. Este concepto se cobra por metro lineal perforado con el precio unitario correspondiente.

- **Ampliación a 26" de diámetro.** Esta actividad incluye el número de ampliaciones requeridas para alcanzar un diámetro mínimo de 26" para tener espacio suficiente la cementación de una tubería de 20" de diámetro, por lo que se utilizan rimas de diferentes diámetros así como lodo bentonítico como fluido de perforación.
- **Adquisición y colocación de contrademe de 20" de diámetro.** Es la adquisición, carga, traslado, descarga y colocación de tubería lisa de acero de 20" de diámetro con $\frac{1}{4}$ " de espesor, con extremos biselados y uniéndolos con soldadura con doble cordón al arco eléctrico.
- **Cementación de contrademe.** El espacio anular entre la ampliación mínima de 26" de diámetro y la tubería de acero de 20" de diámetro se cementara con una lechada de cemento, este concepto se cobra por metro cubico del volumen del espacio anular a cementar.
- **Adquisición y colocación de tubería de acero ranurada de 10" de diámetro.** En este concepto se incluye la adquisición carga, traslado, descarga e instalación de tubería de acero de 10" de diámetro de $\frac{5}{16}$ " de espesor, con extremos biselados y unidos entre sí con soldadura con doble cordón al arco eléctrico.
- **Adquisición y colocación de tubería de acero lisa de 10" de diámetro.** En este concepto se incluye la adquisición carga, traslado, descarga e instalación de tubería de acero de 10" de diámetro de $\frac{5}{16}$ " de espesor, con extremos biselados y unidos entre sí con soldadura con doble cordón al arco eléctrico
- **Suministro y colocación de filtro de grava.** El espacio anular entre la ampliación a 18" y el ademe de 10" de diámetro será rellenado con grava de origen ígneo, de $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{8}$ ", redondeada y libre de arena y arcilla, para su adecuada colocación se podrá bombear agua al interior del pozo durante la colocación o inyectar aire comprimido para acomodar las gravas al interior.
- **Limpieza primaria del pozo.** Esta actividad se realiza con el fin de desalojar los fluidos de la perforación empleados durante las etapas previas a la colocación del filtro de grava, este concepto se cobrará por hora empleada para este procedimiento.
- **Construcción del brocal de pozo.** Con el objetivo de proteger el pozo se construirá un brocal a base de concreto en forma de prisma cuadrangular de 50 cm de alto y 90 cm de base con dos tubos engravadores de 2" de diámetro.
- **Traslado terrestre de personal y equipo de geofísica.** Esta actividad incluye el traslado del personal y de los equipos de registros geofísicos de

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO

pozos del almacén de la compañía al sitio de la perforación, así como el retorno al almacén de los equipos al finalizar los trabajos.

- **Obtención de registro geofísico de pozo.** Incluye la toma de parámetros eléctricos (potencial espontáneo, resistencia y conductividad eléctrica) así como temperatura. Profundidad y desviación del pozo, al final de los trabajos se entrega un informe.
- **Análisis físico-químicos del agua.** Incluye la preparación de las muestras y la determinación de 14 parámetros, se cobra por cada muestra analizada.

A continuación se presenta la cotización desglosada por cada concepto antes descrito:

| CONCEPTO | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | IMPORTE |
|--|----------|--------|-----------------|------------|
| Traslado terrestre de personal de perforación | 1 | TRASL | 19,660.97 | 19,660.97 |
| Movimiento de equipo de perforación | 1 | MOV | 88,568.83 | 88,568.83 |
| Acarreo de materiales | 2 | LOTE | 19,637.62 | 39,275.24 |
| Instalación y desmantelamiento de equipo | 1 | INSTA | 16,123.82 | 16,123.82 |
| Perforación de pozo a 12" en material tipo II de 0 a 100m de profundidad | 70 | m | 1,290.65 | 90,345.50 |
| Ampliación a 18" de diámetro | 250 | m | 5781 | 104,058 |
| Adquisición y colocación de contrademe de 20" de diámetro | 6 | m | 4,653.32 | 86,086.42 |
| Cementación de contrademe | 2 | m | 4,295.06 | 8,590.12 |
| Adquisición y colocación de tubería de acero ranurada de 10" de diámetro | 233 | m | 2,023.24 | 471,414.92 |
| Adquisición y colocación de tubería de acero lisa de 10" de diámetro | 17 | m | 1,795.78 | 30,528.26 |
| Suministro y colocación de filtro de grava. | 30 | M3 | 2,803.33 | 84,099.90 |
| Limpieza primaria del pozo | 24 | h | 2,809.54 | 50,148.96 |
| Construcción del brocal | 1 | pza | 1,821.40 | 1,821.40 |

METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO

| | | | | |
|--|---|-------|-----------|------------|
| de pozo | | | | |
| Traslado terrestre de personal y equipo de geofísica | 1 | trasl | 3,207.77 | 3,207.77 |
| Obtención de registro geofísico de pozo | 1 | reg | 21,740.24 | 21,740.24 |
| Análisis físico-químicos del agua. | 5 | mtra | 1,128.88 | 5,644.42 |
| Total | | | | 997,322.15 |

Tabla 6. Cotización de pozo

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Para la ubicación de sitios con potencial para perforar un pozo de abastecimiento de agua potable es necesario seguir una metodología que nos permita realizar las actividades de manera ordenada para que se logre ubicar un sitio donde las posibilidades de encontrar agua sean mayores.
- Siguiendo la metodología se comprobó que es más certero ubicar el pozo productor al menor costo.
- Existen las condiciones geológicas necesarias para la perforación de un pozo que suministre la cantidad de agua requerida por la población de Huejotitán, en las secciones geológicas - geoeléctricas se observa que la unidad de andesitas y basaltos presentan la mejor permeabilidad en el área de estudio, la mejor ubicación será alrededor del poblado Huejotitán, en el sitio del SEV 10 de la sección geofísica 10.
-
-
- **AMPLIAR CONCLUSIONES**

5.2 Recomendaciones

- Seguir la metodología sugerida en este trabajo para obtener mejores resultados en la investigación de sitios con potencial
- Seguir la normatividad vigente de manera que el pozo cuente con las especificaciones necesarias a fin de que no existan sanciones por parte de las autoridades encargadas de vigilar el cumplimiento de las normas.
- Se recomienda perforar el pozo en el sitio del SEV 10 de la sección geofísica 10
- Hacer un buen diseño de construcción del pozo pues de ello dependerá la vida útil del mismo.
- Se recomienda el método de perforación rotario directo, por el tipo de materiales que se espera cortar en el sitio propuesto.
- La construcción del pozo deberá realizarse posterior a los permisos otorgados por las autoridades de la Comisión Nacional del Agua, además de considerar las acciones que indica la norma oficial mexicana NOM-003-CNA-1996 "Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos".

- Seguir con las mediciones del nivel piezométrico a fin de tener un control sobre el comportamiento del acuífero, en este pozo y en de los alrededores.
- De acuerdo a la información de los análisis químicos del agua, se espera que el agua que se extraiga del pozo sea fresca, dura y con la presencia de coliformes fecales por lo que se debe instalar un dispositivo para cloración del agua a manera de eliminar la presencia de coliformes.

6 Referencias citadas

Emilio Custodio, Manuel Ramos Llamas 1976, *Hidrología Subterránea, Tomo I*, editorial Omega.

Garduño Monroy, Victor H., Spinnler Jacopo, Ceragioli Enrico, 1993, “*Geological and structural study of the Chapala rift, State of Jalisco, Mexico*”, Revista Geofísica Internacional, volumen 32. número 3, p. 487 - 499

Suarez, Gerardo; Garcia Acosta, Virginia; Gaulon, Roland, 1994, “*Active crustal deformation in the Jalisco block, Mexico*”, evidence for a great historical earthquake in the 16th century, revista Tectonophysics numero 234 p. 117 – 127.

Registro público de derechos de agua (REPDA).- CONAGUA

Rodríguez-Castañeda José Luis; Rodríguez Torres Rafael, 1992, “*Geología Estructural y Estratigrafía del área entre Guadalajara y Tepic, Estados de Jalisco y Nayarit, México*”, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, volumen 10. número 2, p. 99-110

Rosas Elguera Francisco, Ferrari Luca, Lopez Martinez Margarita, Urrutia Fucugauchi Jaime, 1997, “*Stratigraphy and tectonics of the Guadalajara Region and Triple-Junction Area, Western Mexico*”, International Geology review, vol. 39, p. 125 – 140.

Servicio Geologico Mexicano, 2000, “*Carta Geológico-Minera Guadalajara F13-12 Jalisco, Michoacan y Guanajuato*”.

Tinajero-Gonzalez J.A. 1985. *Apuntes de aspectos fundamentales en el estudio de agua subterránea (Geohidrología). Facultad de ingeniería. UNAM.*

Estudio de actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero 1451Huejotitan, Estado de Jalisco, CONAGUA, 28 de agosto de 2009, publicado en el diario oficial de la nación

Referencias en línea:

Página del servicio meteorológico nacional

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=28

consultado el 19 de marzo de 2013

7. ANEXO FOTOGRAFICO



Foto 1.- Panorámica de la sierra El Madroño, los escarpes que se observan al fondo corresponden a las fallas normales que conforman el límite este del Rift Tepic- Chapala, foto tomada desde el poblado Huejotitán.

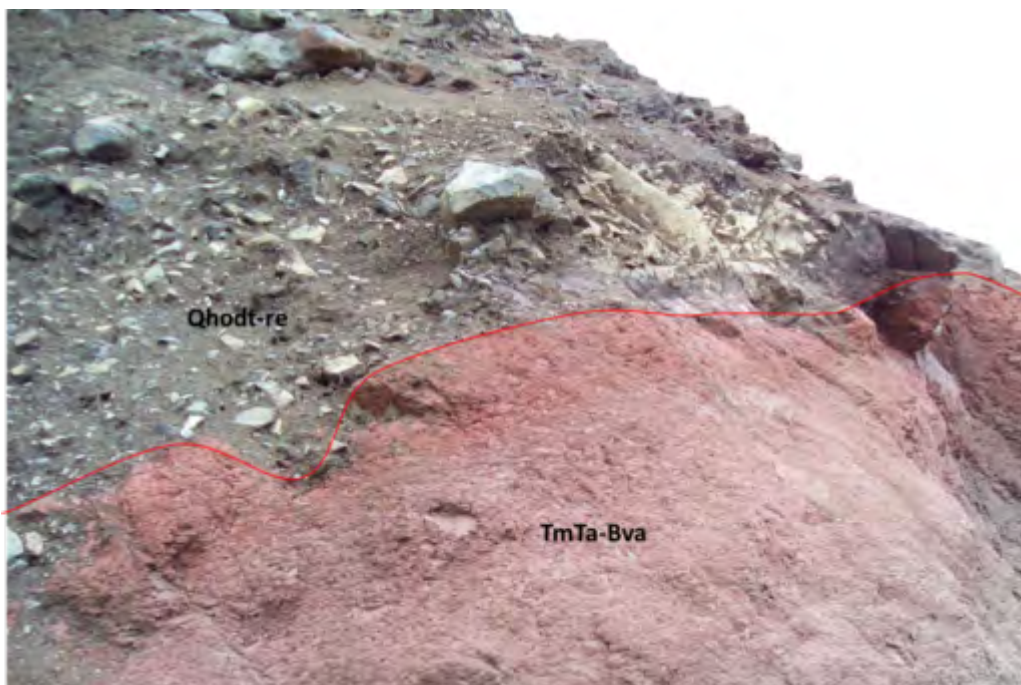


Foto 2.- Unidad toba andesítica – Brecha volcánica andesítica (TmTa-Bva).- Afloramiento de toba andesítica con abundantes fragmentos andesíticos, no se observan sus relaciones estratigráficas, se encuentra cubierta por los depósitos de talud y suelo residual, foto tomada en el libramiento de Jocotepec, rumbo a Chapala.

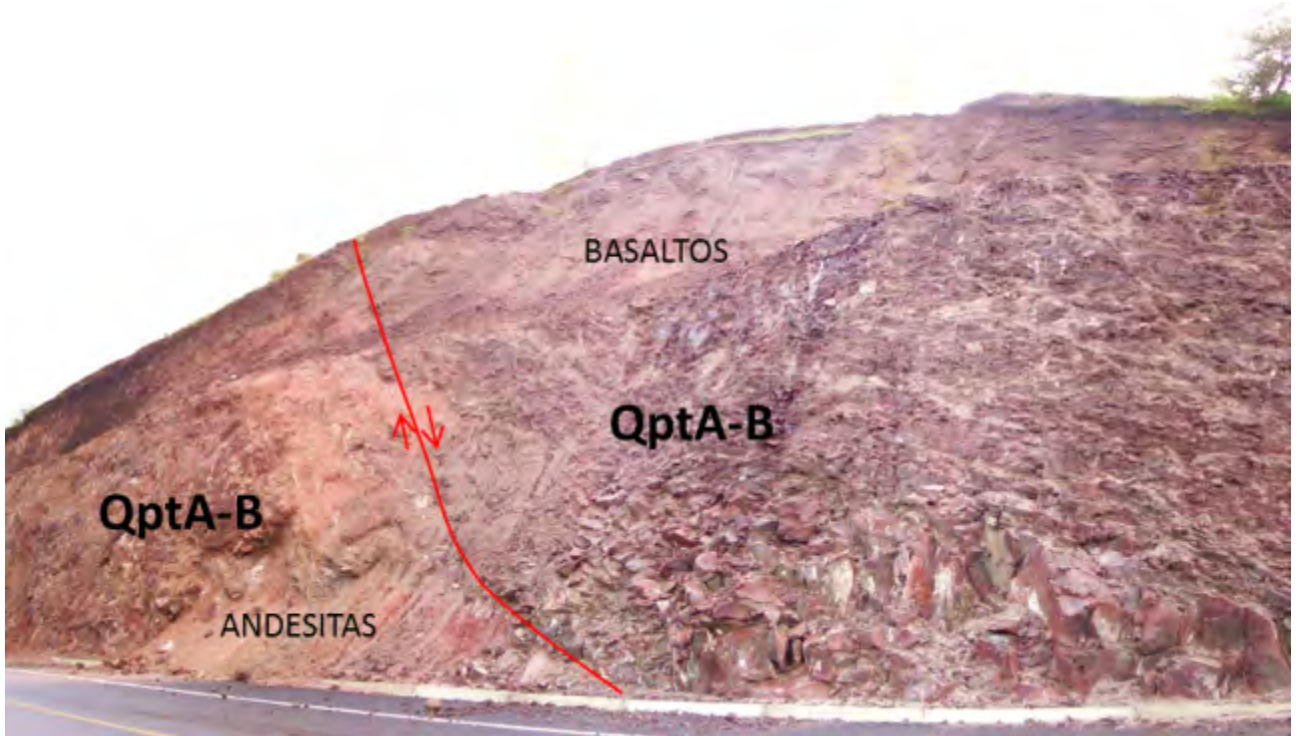


Foto 3.- Falla normal en la unidad Andesita – basalto (TplB-A), corresponde a la parte inferior de la unidad donde se observaron las intercalaciones de las andesitas con los basaltos, foto tomada en el libramiento de Jocotepec, rumbo a Chapala.

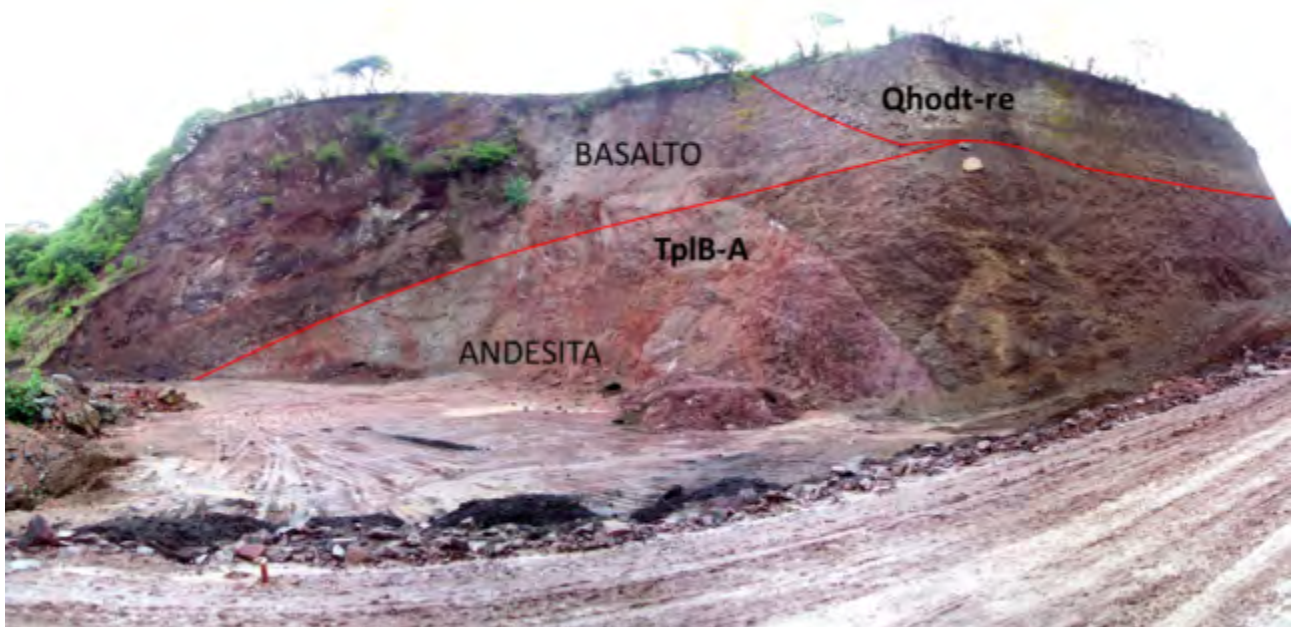


Foto 4.- Unidad andesita – basalto (TplA-B).- Aspecto general de las unidades andesíticas y los basaltos, así como la inclinación de los pseudoestratos, foto tomada al inicio del libramiento de Jocotepec, rumbo a Chapala.



Foto 5.- Unidad andesita – basalto (TplA-B).- Aspecto general de la parte inferior de la unidad, los basaltos están brechados y se observan algunas zonas con relleno, foto tomada en el libramiento de Jocotepec, rumbo a Chapala.



Foto 6.- Unidad andesita – basalto (TplA-B).- Banco de material al pie de la Sierra el Madroño, se observan varias coladas de basaltos y la inclinación de los pseudoestratos,

así como la ausencia de talud y un incipiente suelo residual, foto tomada al oeste de la población de Zapotitlán de Hidalgo.



Foto 7.- Unidad andesita – basalto (TplA-B).- Otra vista del banco de material anterior donde se aprecia la inclinación de los pseudoestratos 34° , también se observa el escaso suelo residual y lo fracturado de los basaltos, foto tomada al oeste de la población de Zapotitlán de Hidalgo.



Foto 8.- Unidad andesita – basalto (TplA-B).- Banco de grava en donde se observa el escaso suelo residual y lo fracturado de los basaltos, foto tomada frente al Cerrito Colorado en la sierra del lado oeste de la microcuenca.



Foto 9.- Unidad Andesita – Basalto (QptA-B).- Compuesta principalmente por roca volcánica extrusiva, de aspecto brechado, constituida por ceniza, lapilli y bloques. foto tomada en el cerrito Colorado.



Foto 10.- Unidad Andesita – Basalto (QptA-B).- Aspecto de los derrames de lava y de las bombas volcánicas que se encuentran dentro de esta unidad. foto tomada en el cerrito Colorado.

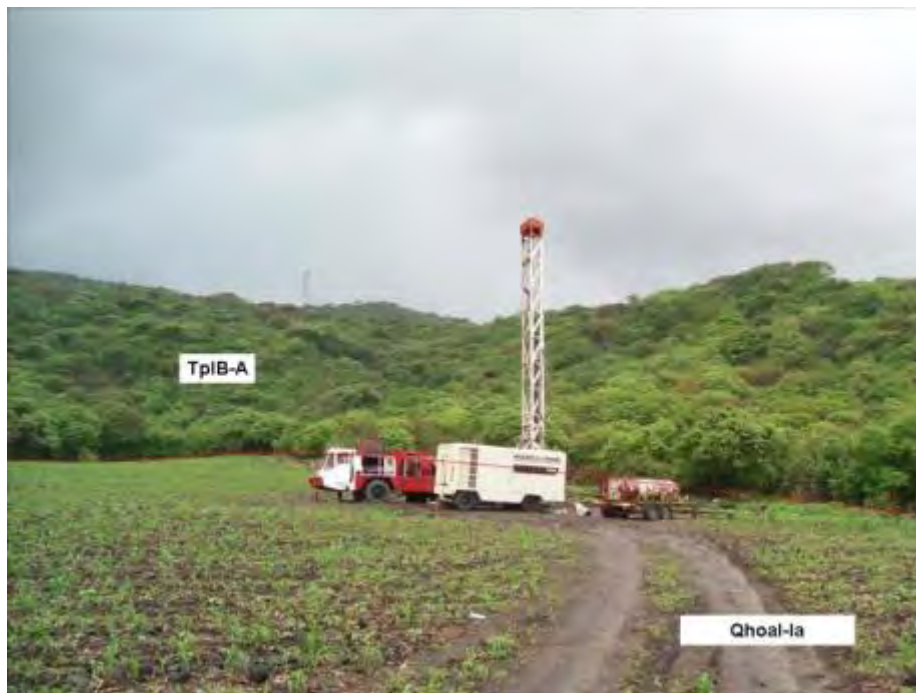


Foto 11.- Unidad Qhoal-la.- En esta foto se aprecia la perforación de un pozo de agua para riego en los depósitos lacustres, el objetivo es cortarlos y entrar en los basaltos para la obtención del agua. Foto tomada al sur del cerrito Colorado.



Foto 12.- Unidad Qhoal-la.- Panorámica de la disposición de los depósitos lacustres, de talud y los basaltos que conforman la Sierra el Madroño. Foto tomada del centro de la cuenca hacia la sierra El Madroño.



Foto 13.- Aspecto de los depósitos de talud que se localizan al pie de la Sierra el Madroño, se aprecia lo anguloso de los fragmentos, así como el aspecto de la matriz areno-arcillosa, foto tomada al oeste del poblado Huejotitán.



Foto 14.- Aspecto de los depósitos residuales, se observa la diferencia en el espesor del depósito, la unidad Tpl B-A, está compuesta en este sitio por andesitas, foto tomada en el libramiento de Jocotepec, rumbo a Chapala.