



FACULTAD DE INGENIERÍA

U N A M

Prospección hidrogeológica y factibilidad de extracción de agua subterránea  
en el poblado de San Agustín Tlalixticapa, Hidalgo

**TESIS**

Que para obtener el grado de:  
**INGENIERO GEÓLOGO**

PRESENTAN:

**Francisco Miguel Cortés**  
**Hermes Rochin García**

*DIRECTOR DE TESIS:*

**Ing. José Antonio Hernández Espriú**





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.

## DEDICATORIA

*A mis padres quienes me han apoyado  
incondicionalmente siempre y debo gran  
parte de lo que soy.*

*A mi pequeña Sofía... eres lo más  
importante en mi vida.*

Francisco Miguel Cortés

*En memoria de mi mamá Bertha García  
Alcántara quien siempre  
me apoyó y confió en mí*

Hermes Rochin García

## **AGRADECIMIENTOS FRANCISCO MIGUEL**

A mis padres que con su amor, esfuerzo y convicción han contribuido enormemente a este momento....por siempre gracias.

A mis hermanos Antonio y Carolina por el cariño, consejos apoyo y comprensión de todos estos años.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la inmejorable experiencia de pertenecer a ella y en particular a la Facultad de Ingeniería que fue mi segunda casa durante varios años.

A la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra por haberme dado la oportunidad de participar en este proyecto y brindar un servicio a la comunidad de San Agustín.

Al Ing. José Antonio Hernández Espriú (Toño para los cuates) por haber dirigido este proyecto, por todos los consejos y conocimientos transmitidos en aulas y fuera de ellas, además de su amistad sincera.

A los sinodales: Dra. Claudia Arango, Ing. Héctor Macías, Ing. Javier Arellano e Ing. Alberto Arias por su invaluable colaboración y consejos en la realización del proyecto.

Al M. en C. Gilberto Silva y al Ing. Martín Vidal por su invaluable consejos y aporte de material bibliográfico de consulta.

A mi compañero de tesis Hermes Rochín García por el apoyo y la amistad de varios años.

A todos mis profesores de la carrera que indudablemente han colaborado en mi formación académica y en algunos casos en mi desarrollo personal.

A mis amigos Carmen, Gabriela, Jorge, Emmanuel, Fernando y José, por su sincera amistad y apoyo en diversos momentos de mi vida. Gracias también por todos los buenos y no tan buenos instantes.

A Rosario por haberme apoyado incondicionalmente de muchas formas y en momentos clave. Gracias por Sofía.

Gracias también a todos mis compañeros que hicieron una muy grata estancia en la universidad y que siempre me mostraron solidaridad y confianza.

También agradezco a la familia Lugo: Don Pedro, Doña Martha y Rubén por habernos dado alojamiento en su casa durante la etapa de campo del proyecto y su invaluable colaboración para la realización del mismo junto con Don Efrén.

## **AGRADECIMIENTOS HERMES ROCHIN**

Agradezco a mis hermanos y a mi abuela quienes siempre me han dado aliento y apoyo para poder cumplir esta meta.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de estudiar dentro de sus aulas y poder ser con orgullo uno más de sus egresados.

Al Ing. José Antonio Hernández por su paciencia y compromiso durante la elaboración de este trabajo además de brindarnos su confianza y amistad.

Al Ing. Héctor Macías, Ing. Javier Arellano, Ing. Alberto Arias y a la Dra. Claudia Arango por su dedicación, ideas, comentarios y sugerencias enriquecedoras.

Un especial agradecimiento a mis profesores de la Facultad de Ingeniería quienes no solo me enseñaron sus conocimientos sino que también me ofrecieron un lazo afectivo y compartieron sus experiencias.

Agradezco a Francisco Miguel por que ha sido un excelente compañero de trabajo y un amigo invaluable sin el cual este proyecto no se hubiera realizado de la misma forma.

A Astrid López por su compañía, paciencia y cariño que me ha regalado en momentos de alegría y también en épocas de desesperación.

A todos mis amigos de la Facultad y del Museo de Geología a quienes no menciono para evitar omitir nombres, siempre han sido como mi familia y siempre me alentaron a seguir adelante, gracias por todas las gratas experiencias que me han dado.

También agradezco afectuosamente a Don Pedro, Marta García y Rubén por ofrecernos su hospitalidad y alojamiento en su hogar.

# CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<i>I.1. ANTECEDENTES.....</i>	<i>11</i>
<i>I.2. OBJETIVOS .....</i>	<i>11</i>
<i>I.3. LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO .....</i>	<i>12</i>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<i>II.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....</i>	<i>14</i>
<i>II.2. FOTOINTERPRETACIÓN.....</i>	<i>17</i>
<i>II.3. VERIFICACIÓN HIDROGEOLOGICA.....</i>	<i>19</i>
<i>II.4. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA.....</i>	<i>19</i>
<i>II.4.1. Generalidades.....</i>	<i>20</i>
<i>II.4.2. Funcionamiento general del TEM .....</i>	<i>20</i>
<i>II.4.3. Adquisición de datos .....</i>	<i>21</i>
<i>II.4.4. Especificaciones del equipo.....</i>	<i>22</i>
<i>II.4.5. Procesamiento de datos .....</i>	<i>22</i>
<i>II.5. PETROGRAFÍA.....</i>	<i>23</i>
<i>II.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....</i>	<i>23</i>
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO NATURAL .....</b>	<b>29</b>
<i>III.1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</i>	<i>29</i>
<i>III.1.1. Climatología de la zona .....</i>	<i>29</i>
<i>III.1.2. Contaminación provocada por las aguas residuales en la zona de estudio.....</i>	<i>30</i>
<i>III.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....</i>	<i>32</i>
<i>III.2.1. Estratigrafía .....</i>	<i>33</i>
<i>III.2.2. Estructuras Regionales .....</i>	<i>37</i>
<i>III.3. GEOLOGÍA LOCAL.....</i>	<i>37</i>
<i>III.3.1. Geología Superficial.....</i>	<i>37</i>



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.

<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
<b><i>IV.1. SECCIONES GEOLÓGICAS .....</i></b>	<b>49</b>
<b><i>IV.2. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA .....</i></b>	<b>51</b>
<b><i>IV.3. HIDROGEOLOGIA.....</i></b>	<b>57</b>
<b><i>IV.3.1. Aspectos hidrogeológicos.....</i></b>	<b>57</b>
<b><i>IV.3.2. Red de flujo subterráneo .....</i></b>	<b>59</b>
<b><i>IV.3.3. Análisis granulométrico .....</i></b>	<b>60</b>
<b><i>IV.4. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA.....</i></b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b><i>V.1. CORRELACIÓN GEOLÓGICA-GEOFÍSICA.....</i></b>	<b>78</b>
<b><i>V.2. SECCIONES GEOLÉCTRICAS .....</i></b>	<b>80</b>
<b><i>V.3. HIDROGEOLOGÍA .....</i></b>	<b>86</b>
<b><i>V.3.1. Unidades hidrogeológicas.....</i></b>	<b>87</b>
<b><i>V.3.2. Modelo conceptual hidrogeológico del área de estudio.....</i></b>	<b>90</b>
<b><i>V.3.3. Profundidad del nivel del agua y características de los aprovechamientos de la zona. 91</i></b>	
<b><i>V.3.4. Elevación del nivel estático (2009) y red de flujo subterráneo.....</i></b>	<b>95</b>
<b><i>V.4 UBICACIÓN DE PERFORACIONES EXPLORATORIAS.....</i></b>	<b>96</b>
<b><i>V.4.1. Análisis granulométrico .....</i></b>	<b>103</b>
<b><i>V.5. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA .....</i></b>	<b>103</b>
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
<b><i>VI.1 CONCLUSIONES .....</i></b>	<b>105</b>
<b><i>VI.2 RECOMENDACIONES .....</i></b>	<b>106</b>
<b>CAPÍTULO VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>111</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>114</b>
<b><i>APÉNDICE I DATOS DE CAMPO.....</i></b>	<b>114</b>
<b><i>APÉNDICE II PETROGRAFÍA.....</i></b>	<b>130</b>
<b><i>APÉNDICE III COTIZACIÓN DEL POZO A 200 m.....</i></b>	<b>139</b>

<b>PLANOS</b> .....	<b>143</b>
<i>PLANO 1 MAPA GEOLÓGICO</i> .....	<i>144</i>
<i>PLANO 2 APROVECHAMIENTOS EXISTENTES</i> .....	<i>145</i>
<i>PLANO 3 SECCIONES GEOLÓGICAS</i> .....	<i>146</i>
<i>PLANO 4 RED DE FLUJO SUBTERRÁNEO</i> .....	<i>147</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura I.1. Localización del área de estudio</b> .....	<b>13</b>
<b>Figura II.1. Representación de un sondeo transitorio electromagnético</b> .....	<b>21</b>
<b>Figura III.1. Mapa de climas de Hidalgo, donde se señala el área de estudio.</b> .....	<b>29</b>
<b>Figura III.2. Columna estratigráfica local</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura III.10 Puntos de verificación geológica</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura IV.1. Secciones geológicas representativas y unidades litológicas</b> .....	<b>50</b>
<b>Figura IV.2 Localización de los TEM en la zona de estudio</b> .....	<b>52</b>
<b>Figura IV.3 Ubicación de las secciones geofísicas</b> .....	<b>54</b>
<b>Figura IV.4. Sección Geofísica 1</b> .....	<b>55</b>
<b>Figura IV.5. Sección Geofísica 2</b> .....	<b>55</b>
<b>Figura IV.6. Sección Geofísica 3</b> .....	<b>56</b>
<b>Figura IV.7. Sección Geofísica 4</b> .....	<b>56</b>
<b>Figura IV.8 Unidades Hidrogeológicas</b> .....	<b>58</b>
<b>Figura IV.9. Configuración de la elevación del nivel estático y red de flujo subterráneo Septiembre 2009</b> .....	<b>59</b>
<b>Figura IV.10. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra SAT2</b> .....	<b>60</b>
<b>Figura IV.11. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra SAT2</b> .....	<b>61</b>

<b>Figura IV.12. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra SAT2.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura IV.13. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra SAT5 .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura IV.14. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra SAT5.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura IV.15. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra SAT5.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura IV.16. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra SAT6 .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura IV.17. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra SAT6.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura IV.18. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra SAT6.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura IV.19. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra PVG2 (1). .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura IV.20. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra PVG2 (1).....</b>	<b>66</b>
<b>Figura IV.21. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra PVG2 (1) .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura IV.22. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra PVG2 (2) .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura IV.23. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra PVG2 (1).....</b>	<b>68</b>
<b>Figura IV.24. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra PVG2 (2) .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura IV.25. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra GSP1 .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura IV.26. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra GSP1.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura IV.27. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra GSP1.....</b>	<b>70</b>

<b>Figura IV.28. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra MMC3.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura IV.29. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra MMC3 .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura IV.30. Curva granulométrica y diámetro <math>d_{50}</math> para la muestra MMC3.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura V.1. Unidades Geoeléctricas 1 .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura V.2. Unidades Geoeléctricas 2 .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura V.3. Unidades Geoeléctricas 3 .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura V.4. Unidades Geoeléctricas 4 .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura V.5 Ubicación de las secciones geofísicas y geología .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura V.6. Límites del acuífero Alfajayucan-Chapantongo .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura V.7. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 1 .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura V.8. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 2 .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura V.9. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 3 .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura V.10. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 4.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura V.11. Ubicación de pozos censados.....</b>	<b>92</b>
<b>Figura V.12 Croquis de los pozos a 180 y 200 m.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura VI.1 Ubicación de las alternativas de solución.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía II.1. Equipo terraTem utilizado .....	22
Fotografía III.1. Canal de riego de aguas residuales en las cercanías de San Agustín Tlaxiaticapa.....	31
Fotografía III.2. Calizas de la Formación El Abra (KaceCz) que presentan evidencias de disolución y fracturamiento .....	39
Fotografía III.3. Intrusivo diorítico TD .....	40
Fotografía III.4. Andesitas fracturadas y brecha volcánica con alteración hidrotermal de la unidad TplA-Da-Bva.....	41
Fotografía III.5. Depósitos piroclásticos de la Toba Donguinyó TplTR .....	42
Fotografía III.6. Depósitos piroclásticos de ignimbritas soldadas de la unidad Toba Huichapan TplTR-Ig .....	43
Fotografía III.7. Depósitos piroclásticos pumíticos de la unidad TplPu .....	44
Fotografía III.8. Basaltos de la unidad TplB.....	45
Fotografía III.9. Depósitos lacustres de la unidad Qpthola.....	46
Fotografía V.1 Pozo Zozea, cuyo nivel estático se encuentra a 86.4 m de profundidad.....	92
Fotografía V.2. Galería filtrante “El túnel” .....	94
Fotografía V.3. Manantial Madhó Corrales .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla II.1 Relación de porosidades total y eficaz de diversos materiales .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla III.1. Valores de precipitación y temperatura promedio registrados en la estación Ixmiquilpan (INEGI, 2009) .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla III.2. Caudales de agua residual generada en la región hidrológico-administrativa XIII Valle de México (CONAGUA, 2009).....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla III.3. Coordenadas UTM de los puntos de verificación geológica .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla IV.1. Coordenadas de los TEM.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla IV.2. Valores de conductividad hidráulica de diferentes muestras representativas del acuífero .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla IV.5. Resultados de los análisis químicos del agua.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla V.1. TEM que componen cada sección geoelectrica .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla V.2 Valores resistivos y correlación litológica de las Unidades Geoelectricas... </b>	<b>79</b>
<b>Tabla V.3. Correlación entre unidades geofísicas e hidroestratigráficas, y su comportamiento hidrogeológico en el subsuelo .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla V.4. Características de los pozos visitados en campo .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla IV.3. Descensos a diferentes caudales para el pozo del sitio 1 .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla IV.4. Descensos a diferentes caudales para el pozo del sitio 2 .....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla VI.1. Ubicación de alternativas para la perforación exploratoria .....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla VI.2. Materiales que se espera atravesar en las alternativas para las perforaciones exploratorias .....</b>	<b>108</b>

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar un sitio propicio para la explotación del agua subterránea en el poblado de San Agustín Tlaxiutla, Hidalgo se realizó un estudio hidrogeológico a solicitud de sus autoridades locales. El estudio incluyó verificación en campo de las unidades geológicas en los alrededores del sitio en cuestión, censo de aprovechamientos, realización un estudio geofísico que consistió de cinco tendidos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TEM) a una profundidad de investigación de 400 m y análisis químicos del agua de seis pozos seleccionados estratégicamente.

La zona de estudio se localiza en la porción central del estado de Hidalgo dentro del municipio de Alfajayucan, en donde las condiciones climáticas no son favorables debido a la baja precipitación que ahí se registra. Aunado a lo anterior, el sitio se encuentra inmerso en una red de canales de riego que conducen aguas residuales provenientes mayoritariamente de la ciudad de México.

Las unidades litoestratigráficas aflorantes en la zona son principalmente de origen ígneo con edades que van desde el Terciario (Mioceno-Plioceno) hasta el Cuaternario, constituidas por un intrusivo diorítico, brechas volcánicas ácidas con alteración hidrotermal, piroclastos de composición riolítica (tobas Donguiño , Huichapan y depósitos pumíticos de caída libre), además de coladas de lava andesítica y basáltica. Los espesores de estas unidades son variables y difíciles de definir debido al carácter discordante que guardan con las secuencias más antiguas, como las unidades sedimentarias del Cretácico inferior y superior, representadas por las Formaciones El Abra y Soyatal respectivamente. La primera se conforma de calizas arrecifales masivas mientras que la segunda corresponde a una alternancia de margas, calizas, lutitas y areniscas en estratificación delgada. Los depósitos lacustres y aluviales cuaternarios más recientes no tienen una amplia distribución en la zona de interés.

Con base en el modelo hidrogeológico de la región y la prospección geofísica interpretada en este proyecto, las unidades litoestratigráficas con mayores probabilidades de contener agua son las tobas Donguiño, Huichapan y las pumicitas de caída libre. Se espera que el



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.

nivel freático en San Agustín Tlaxiaticapa y sus alrededores se localicen en el intervalo de los 90 m a 110 m de profundidad, basado en el análisis de los resultados del censo de pozos y los estudios geofísicos.

La permeabilidad primaria presente en el sector de la Formación El Abra que se verificó, podría permitir el almacenamiento y circulación del agua subterránea, sin embargo, de acuerdo con la cartografía de la zona, esta Formación se encuentra a más de 500 m de profundidad en las inmediaciones del poblado, por lo que se descartó como posible zona de explotación para los alcances de este proyecto.

La red de flujo configurada señala que el agua subterránea se mueve preferencialmente de sur a norte, con una distorsión de las curvas equipotenciales en el sector noreste de la presa Vicente Aguirre, causada probablemente por fugas en el embalse de la misma, que inducen una componente suroeste-noreste en el movimiento del agua. Con base en esta configuración, se puede establecer que la zona de recarga del acuífero en el sector de interés se localiza al sur de la misma, en donde el agua de lluvia se infiltra al subsuelo propiciando la recarga del acuífero. San Agustín Tlaxiaticapa se ubica en la zona de tránsito, mientras que la zona norte, en los alrededores de Madhó Corrales, conforma la zona de descarga. La sierra emplazada en el oriente del área de estudio actúa como límite lateral del acuífero, debido a sus características hidrogeológicas.

Se ha sugerido dos sitios cercanos a San Agustín para la realización de perforaciones exploratorias a 180 m y 200 m de profundidad, no obstante, la reactivación del pozo Yonthé Chico representa una solución viable por su bajo costo comparado con la realización de un pozo nuevo, siempre y cuando se realice el mantenimiento y estudios químicos del agua pertinentes. Como última opción propuesta se encuentra la perforación de un pozo en los alrededores del poblado La Vega (10 km aproximadamente al norte del sitio de interés) por tener las mejores condiciones hidrogeológicas presentes en el lugar, lo que representa una buena posibilidad a largo plazo para el abastecimiento de agua en la región.

Los análisis químicos realizados al agua de los pozos seleccionados muestran que solamente los pozos Yonthé Chico y Decá sobrepasan los límites máximos permisibles de

coliformes totales establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo el agua de los pozos activos y de aquellos que se perforen en el futuro debe ser analizada periódicamente debido al riesgo de contaminación existente, ocasionado por el riego de cultivos con aguas residuales que se lleva a cabo en toda la región. Consideramos que la perforación y construcción de un nuevo pozo le costaría al municipio aproximadamente 1, 300, 000 pesos.

# **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

## ***I.1. ANTECEDENTES***

Las autoridades locales del poblado San Agustín Tlaxiaticapa, en el estado de Hidalgo, solicitaron a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, realizar un estudio con la finalidad de establecer las características hidrogeológicas del subsuelo en el poblado, para determinar un sitio con las mejores condiciones para proponer un pozo de abastecimiento de agua potable para dicha comunidad.

San Agustín Tlaxiaticapa es una comunidad pequeña y marginada, con escasez de recursos para invertirlos en estudios y obras hidráulicas, por esta razón la Facultad de Ingeniería, decidió aprobar el proyecto y encomendó al Grupo de Hidrogeología de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra el desarrollo del proyecto, el cual forma parte de un servicio a la comunidad (no financiado) que contribuirá un mejor desarrollo socio-económico de los habitantes del poblado.

## ***I.2. OBJETIVOS***

- Determinar los sitios con las mejores características hidrogeológicas para la ubicación del pozo de abastecimiento de agua potable para la comunidad.
- Establecer la factibilidad de extracción de agua subterránea en la región, como fuente de agua potable.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

### ***1.3. LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO***

El área de estudio se localiza en el poblado de San Agustín Tlalixticapa, Municipio de Alfajayucan, ubicado, al occidente, dentro del Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, en las coordenadas: 20° 24´ latitud norte y 99° 21´ longitud oeste, a una altitud de 1,880 metros de altura sobre el nivel del mar

Sus colindancias son:

Al norte: municipios de Huichapan, Tecozautla y Tasquillo.

Al este: municipios de Tasquillo, Ixmiquilpan y Chilcuautla.

Al oeste: municipios de Chapantongo y Huichapan.

Al sur: municipios de Chilcuautla y Chapantongo

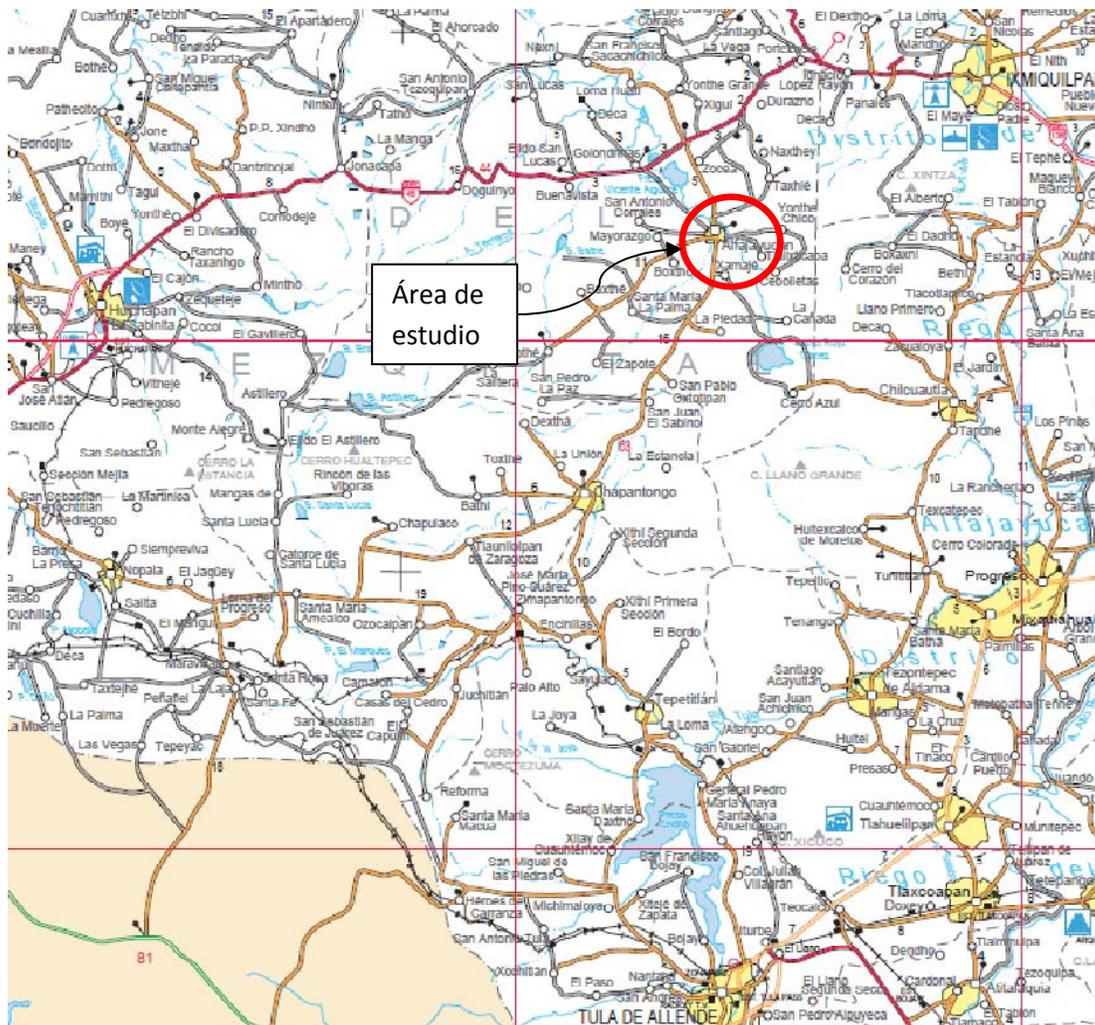
El municipio cuenta con una superficie de 467.70 km<sup>2</sup>, representa el 2.23% de la superficie del estado. Las elevaciones principales en Alfajayucan son: los Cerros de El Soldado, Colorado, El Sauz, Bafe, Dianxe, El Peñón, Bathe, y Muemxai.

El municipio contiene un río que cruza el territorio de norte a sur llamado Río Alfajayucan, que es un afluente del Río Moctezuma; el territorio de este municipio es atravesado también por el Río Santa María, así mismo, lo integran las presas de Dolores, La Peña (Javier Rojo Gómez) y Vicente Aguirre. Existen también algunos pozos para agua en las comunidades de San Francisco, Sacachichilco, Salitrero, Zozea, Pueblo Nuevo, Yonthé Chico y Donguinyo. Cabe mencionar que Alfajayucan cuenta con un sistema de riego que abarca una superficie de 12,000 hectáreas en operación.

De acuerdo a los resultados que presentó el segundo Censo de Población y Vivienda en el 2005, el municipio cuenta con un total de 16,859 habitantes, de los cuales, 508 pertenecen al poblado, distribuidos en 249 hombres y 259 mujeres.

La principal vía de acceso es a través de la Carretera Federal número 45, en el tramo que va de Ixmiquilpan hacia Huichapan, en donde se toma la desviación hacia la cabecera

municipal de Alfajayucan, para finalmente tomar el camino hacia el poblado de San Agustín Tlalixticapa; el segundo camino es a partir de la carretera estatal que parte de Tula de Allende y que llega a la cabecera municipal de Alfajayucan cruzando por el poblado de Chapantongo (figura I.1).



**Figura I.1. Localización del área de estudio**

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transporte (Coordinación General de Planeación y Centros SCT, 2006)

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

Para desarrollar el presente estudio, se llevaron a cabo una serie de actividades que permitieron cumplir con los objetivos planteados, entre las que destacan la recopilación y análisis de la información existente dentro del área, la visita preliminar al área de estudio, el levantamiento de los puntos de verificación geológica, toma de datos de los niveles piezométricos, geofísica de exploración, estudios granulométricos, análisis químicos del agua, el procesamiento de la información y la integración de los resultados. A continuación se hace una breve descripción del contenido de cada una de ellas.

### ***II.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN***

Con la finalidad de establecer el modelo conceptual hidrogeológico de la zona de estudio y planear las actividades de campo a desarrollar, se recopilaron, analizaron y sintetizaron los estudios topográficos, geológicos, hidrogeológicos y geofísicos que se han llevado a cabo en la zona en años anteriores, por instituciones académicas, públicas federales y estatales, además de empresas privadas. Algunos de ellos se enlistan y se discuten a continuación.

- *Informe geológico. Prospecto Progreso. Área Zimapán-Pachuca. Realizado para Petróleos Mexicanos, Facultad de Ingeniería UNAM (1985).*

Este informe plasma el estudio geológico de la zona conocida como Prospecto Progreso, de 2,992 km<sup>2</sup>, desde el norte del Estado de México hasta la parte central del Estado de Hidalgo, incluyendo el área de Alfajayucan. Integra la estratigrafía, geología estructural y evolución paleogeográfica-tectónica del sitio objeto de estudio.

La utilidad de esta información en el presente trabajo radica en el conocimiento de elementos estratigráficos y estructurales generales de la zona de Alfajayucan-Ixmiquilpan, que sirven como antecedentes para el establecimiento del marco geológico regional de la zona de estudio.



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.

- *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo. Comisión Nacional del Agua (2002)*

Este documento de disponibilidad presenta de manera sintetizada las características hidrogeológicas del área de estudio, mapas de profundidad y elevación del nivel estático, así como el balance de aguas subterráneas del acuífero de Ixmiquilpan.

La descripción de las unidades hidroestratigráficas de este acuífero fueron de utilidad para establecer el modelo conceptual hidrogeológico de la zona de interés, debido a la cercanía de ambas zonas y ciertas similitudes entre las unidades geológicas que afloran.

- *Estudio geológico geofísico para la dictaminación de un sitio con posibilidades para la perforación de un pozo de agua potable para las comunidades de San Agustín Tlaxiácapan y la cañada municipio de Alfajayucan, estado de Hidalgo (2002).*

En este informe previo elaborado por GEOPSA se consultó información sobre el área de estudio, así como los estudios geofísicos y sus resultados, para poder ser comparados con estudios cercanos al área.

- *Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Gómez-Tuena et al. (2005).*

Este artículo explica el origen y la evolución geológico-tectónica de toda la provincia geológica conocida como Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), a través del análisis de la estratigrafía del sitio, geología estructural, tectónica y análisis geoquímicos.

Esta fuente fue de utilidad para relacionar las características generales de la provincia fisiográfica del área de interés (FVTM) con la capacidad de las rocas para almacenar agua, y permitir su circulación en el subsuelo.

- *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Huichapan-Tecozautla, Estado de Hidalgo. Comisión Nacional del Agua (2007).*

Este documento sintetiza las características hidrogeológicas del acuífero en cuestión, resultados de los análisis químicos hechos al agua subterránea, además de proporcionar el balance de aguas subterráneas.

El modelo conceptual hidrogeológico, piezometrías, mapas de elevación, profundidad y evolución del nivel estático de este estudio, sirvieron de apoyo para la conceptualización del modelo hidrogeológico de la zona de interés del presente informe, que es cercano al acuífero Huichapan-Tecozautla.

- *Evolución geológica de la caldera Donginyó-Huichapan, Cinturon Volcánico Mexicano, México. Aguirre-Díaz et al. (2009).*

En este artículo se describe la evolución geológica de la caldera Donginyó-Huichapan que inicio su actividad hace 5 millones de años aproximadamente, cuyo centro se localiza aproximadamente a 21 km del área de estudio, por ende este artículo es de gran relevancia para comprender la estratigrafía regional, ya que la mayoría de las unidades litológicas que se encuentran aflorando son producto de los materiales arrojados por la erupción de esta caldera, o por los derrames de lava producidos por pequeños volcanes asociados al vulcanismo de la caldera.

- *Cartas geológico-mineras escala 1:50,000 F14-C68 Tecozautla (2002), F14-C69 Tasquillo (2001), F14-C78 Huichapan (2009) y F14-C79 Ixmiquilpan (2005), Servicio Geológico Mexicano.*

Estas cuatro cartas proporcionan información espacial de la distribución superficial de las unidades geológicas que afloran, rasgos estructurales, zonas de alteración, interpretaciones de su comportamiento en el subsuelo a partir de las secciones geológicas incluidas en cada una de ellas, una breve descripción litológica y evolución tectónica del área que comprenden.

Esta información fue básica para planear los recorridos de verificación geológica en campo, establecer el marco geológico, correlación geofísica, modelo hidrogeológico, así como para la elaboración del mapa base donde se despliegan los puntos de trabajo del proyecto.

- *Cartas topográficas escala 1:50,000 F14-C68 Tecozautla (2001), F14-C69 Tasquillo (2001), F14-C78 Huichapan (2001) y F14-C79 Ixmiquilpan (1999), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.*

Las curvas de nivel, las vías terrestres de comunicación y la localización de los diferentes poblados constituyen básicamente la información de las cartas, la redefinición de distintos contactos entre algunas unidades geológicas fue posible gracias a la interpretación del relieve a través de las curvas de nivel, así como la ubicación, con mayor certidumbre, de elementos como presas, caminos y poblaciones.

## **II.2. FOTOINTERPRETACIÓN**

El proceso fotointerpretativo metódico se constituye de dos etapas primordiales; la primera de ellas es la del “análisis inductivo”, mediante el cual se llega por examen fotogeológico de los rasgos particulares y complejos observables en las fotografías aéreas e imágenes satelitales que se producen por fenómenos simples y generales de la corteza terrestre; la segunda etapa es la de “síntesis deductiva” en donde se desarrollan conclusiones generales a partir de la observación de fenómenos más particulares.

El método fotogeológico se basa en una serie de factores analíticos o reglas normativas, que regulan a la interpretación. Guerrero Peña (1980) divide estas reglas en cinco grupos con base en sus características similares, coherencia o analogía agrupándolas sistemáticamente de la siguiente forma:

Grupo primero: Condiciones que derivan de las propias fotografías, es decir de la expresión física de los elementos técnicos que las constituyen

- Tono
- Textura
- Micro textura

Grupo segundo: Reglas derivadas de los objetos o rasgos que integran a las fotografías aéreas o imágenes satelitales.

- Forma
- Tamaño
- Sombra
- Tipo de modelo de configuración
- Relación con objetos y rasgos asociados
- Micro rasgos no topográficos

Grupo tercero: Reglas derivadas de la topografía.

- Formas topográficas o relieve terrestre
- Lugar, sitio o emplazamiento
- Posición o gradiente
- Ruptura de pendiente
- Alineación de rasgos o rasgos alineados

Grupo cuarto: Reglas que derivan de de los caracteres fisiográficos y geomorfológicos de los rasgos naturales de la superficie terrestre.

- Erosión
- Drenaje

Grupo quinto: Está constituida por una sola regla, producto de la combinación de tres elementos que constituyen la correlación roca suelo vegetación.

- Correlación roca suelo vegetación

En esta etapa de analizaron las fotografías aéreas escala 1:20 000 vuelo 657 línea 649 F14C79, fotografías 30-59 INEGI, en donde en función de las reglas normativas mencionadas anteriormente permitieron delimitar a las unidades litológicas así como la

geometría del valle. Dicha información fue ocupada en la realización del mapa geológico local y para la discusión e interpretación de resultados.

### ***II.3. VERIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA***

Esta actividad es primordial porque permite reconocer las diferentes unidades litológicas que afloran en el área del poblado, con objeto de analizar las posibilidades acuíferas en la región. Se verificaron las unidades delimitadas en las cartas geológicas escala 1:50,000 hechas por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), se analizaron sus características, litológicas, mineralógicas macroscópicas, sus relaciones estratigráficas y estructurales con otras unidades adyacentes (ver apartado de Geología Local), para relacionarlas con la capacidad que tienen para formar acuíferos potenciales.

Durante este informe se identificaron y visitaron 13 pozos de agua para diferentes comunidades próximas al área de estudio, una galería filtrante y dos zonas de manantiales.

De cada uno de los pozos de abastecimiento, se tomó y registró su ubicación geográfica, características constructivas visibles, niveles estáticos y dinámicos (cuando fue posible) y fotografías. Es importante señalar que de los 13 pozos visitados, solamente en 11 se midió el nivel estático, debido a que las características constructivas en dos de ellos no permitieron la toma de los niveles. La galería filtrante solamente se ubicó y fotografió ya que se encontraba cercada y no hubo acceso a la obra.

Respecto a los manantiales, se ubicaron geográficamente, fotografiaron y reconocieron las características geológicas de la unidad litológica que constituye la zona de descarga.

### ***II.4. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA***

Con objeto de definir la distribución y características de los materiales en el subsuelo, se realizaron cinco sondeos transitorios electromagnéticos (TEM) distribuidos estratégicamente en la zona de estudio. La técnica consistió en colocar una bobina o espira

en forma cuadrangular con dimensiones de 150 x150 m, utilizando el arreglo conocido como “bobina coincidente” para poder alcanzar una profundidad de investigación aproximada de 400 m. Se trabajó también con 36 datos de TEM de 300 x 300 m tomados con anterioridad.

#### ***II.4.1. Generalidades***

En el campo de la hidrogeología, la técnica del Transitorio Electromagnético es una de las técnicas geofísicas más utilizadas actualmente para la exploración de agua subterránea, tanto en equipos de medición como en el soporte técnico-científico para la interpretación de los datos medidos.

Con el método electromagnético (TEM) es posible mostrar una distribución de los materiales del subsuelo en términos de la caracterización resistiva. Los valores de resistividad obtenidos son asociados a estructuras geológicas, cambios litológicos y fracturamiento de la roca, donde además la presencia del agua influye en el valor medido, provocando cambios importantes en la resistividad que es el parámetro experimental de campo que se mide.

La resistividad real o verdadera, definida con la técnica de interpretación para los sondeos por transitorio electromagnético, puede diferir del valor que se obtiene con las otras técnicas existentes para su determinación. Esto se debe a múltiples factores que van desde el tipo de señal producida y forma de registro, hasta las suposiciones y simplificaciones empleadas en la formulación físico-matemática que define a la resistividad real.

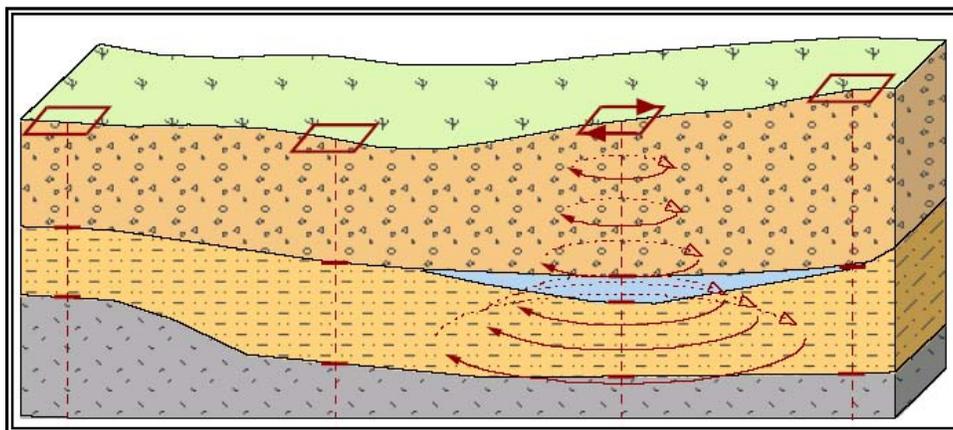
#### ***II.4.2. Funcionamiento general del TEM***

En general, los transitorios electromagnéticos (TEM) son realizados con una unidad transmisora unida a un alambre o cable (espira grande, bobina o dipolo eléctrico) y un sensor (bobina o dipolo eléctrico) que recibe y manda la señal a una unidad receptora. Al inyectar una corriente estable en la bobina transmisora se produce un campo magnético primario. Un corte abrupto de esta corriente ocasiona la interrupción del campo magnético

primario, lo que produce, satisfaciendo la ley de Faraday, una inducción electromagnética de corrientes eléctricas en el subsuelo. Estas corrientes conocidas también como corrientes de Eddie, fluyen en trayectorias cerradas en el subsuelo, migran en profundidad y lateralmente, mientras que su intensidad disminuye conforme pasa el tiempo, lo que genera a su vez un campo magnético secundario transitorio; este campo secundario induce un voltaje variable en tiempo en el receptor. La forma del decaimiento de este voltaje contiene información sobre la resistividad del subsuelo, puesto que la magnitud y distribución de las corrientes inducidas depende de la resistividad. El carácter migratorio en profundidad de las corrientes es usado como un control de la profundidad, es decir, los voltajes de tiempos cortos proveen información de la resistividad somera, mientras que los de tiempos largos la dan de la resistividad a mayor profundidad.

#### ***II.4.3. Adquisición de datos***

La técnica del TEM consistió en utilizar bobina que está formada de un cuadro mediante un cable con dimensiones de 150 x 150 m (área de la bobina 22,500 m<sup>2</sup>) mediante el arreglo denominado *bobina coincidente*, en donde la misma bobina transmisora se ocupa como receptora (figura II.1). Con estas características se alcanzó una profundidad aproximada de investigación de 400 m.

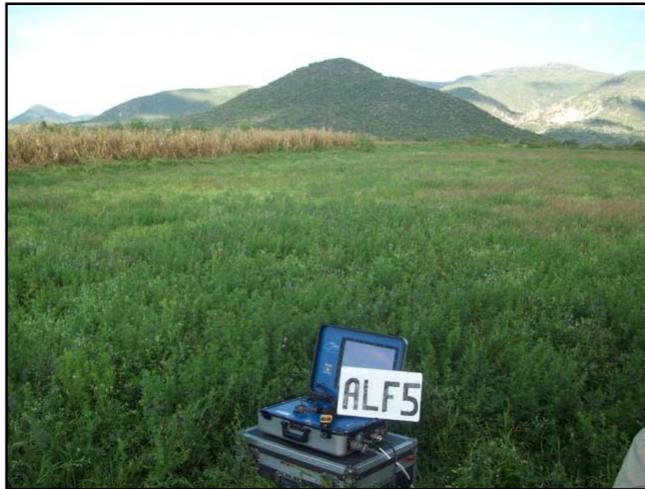


**Figura II.1. Representación de un sondeo transitorio electromagnético**

#### ***II.4.4. Especificaciones del equipo.***

Se utilizó un equipo terraTEM, el cual presenta las siguientes especificaciones:

- Transmisor: 10 amperes
- Receptor: 500 Hz con 3 canales simultáneos verdaderos
- Memoria interna: 1GB
- Interfase externa: USB
- Dimensiones: 51x35x16cm
- Peso: 13kg
- Temperatura de operación: -10 a 40°C



**Fotografía II.1. Equipo terraTem utilizado**

#### ***II.4.5. Procesamiento de datos***

El procesamiento de los datos inicia con la transferencia de los registros obtenidos en campo a la computadora, con un formato ya preestablecido.

En el software Temixs se proceden a leer los archivos de los datos, donde se despliegan todas las curvas registradas de decaimiento de voltaje tomadas a diferentes ganancias. Se editan para poder obtener una sola curva final, la cual en el mismo software se convierte a

una curva de resistividad aparente contra tiempo. A partir de esta última curva se genera un modelo geoelectrico, el cual depende de las inflexiones de la misma, así como de las pendientes y los tiempos en donde están dichas inflexiones.

### ***II.5. PETROGRAFÍA***

Durante esta etapa se elaboraron ocho láminas delgadas como resultado del muestreo realizado durante la verificación geológica, de donde se obtuvieron muestras de mano y posteriormente las láminas delgadas con el objetivo de caracterizar las unidades litológicas del área de estudio con base en sus propiedades petrofísicas, buscando aquellas con mayor porosidad y permeabilidad con posibilidades de almacenar agua subterránea. El estudio petrográfico se realizó haciendo uso los criterios de identificación mineral descrita por Makenzie y Adams (1994) en donde a partir de propiedades como la forma, color, pleocroísmo, relieve, birrefringencia, etc. se identifican los componentes minerales de una roca; posteriormente se asignó una clasificación que representara las características de las unidades descritas.

### ***II.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO***

El análisis granulométrico de algunas muestras colectadas durante la etapa de verificación hidrogeológica fue importante para conocer la distribución de los diferentes tamaños de grano existentes en la muestra de los materiales poco consolidados. A partir de la curva granulométrica, valores de porosidad tabulados y la ecuación de Kozeny-Carman se obtuvo la conductividad hidráulica (K) de los materiales. Se analizaron siete muestras; tres de ellas obtenidas dentro del poblado, una colectada aproximadamente 7 km al suroeste de San Agustín (en las cercanías de San Juna El Sabino), dos a 11 km de manera aproximada en dirección noreste del sitio de interés (en la zona de Panales) y una en la zona de Madhó Corrales (14 km al noroeste de San Agustín). Cada una de las siete muestras fue sometida por separado al proceso que se describe enseguida.

Doscientos gramos de muestra se hicieron pasar por siete tamices con aberturas de malla desde 2 mm hasta 0.0625, se pesó el material retenido por cada tamaño de malla para después obtener su porcentaje correspondiente respecto del peso total de la muestra

tamizada. A través de la diferencia entre el 100% del peso de la muestra-porcentaje retenido por el tamiz con el mayor tamaño de abertura en la malla (2 mm) se obtuvo el porcentaje en peso de la muestra que pasó dicha malla (no fue retenido por ese tamaño de malla), a este valor le fue restado el porcentaje de muestra retenida por el siguiente tamiz utilizado (1 mm) para obtener de esta manera el porcentaje en peso de la muestra que pasó la malla con abertura de 1 mm. Se procedió de igual manera hasta conocer el porcentaje en peso de la muestra que no fue retenida por el tamiz con abertura de malla igual a 0.0625 mm. Con este procedimiento se obtienen pares de valores que representan un tamaño de abertura de malla y el porcentaje en peso de muestra que pasó ese valor de malla, dicho de otra forma, se conoce el porcentaje en peso de la muestra del material en cuestión que es menor o igual a cierto tamaño de grano ya establecido.

Con los pares de valores obtenidos se construye la curva granulométrica, en donde se representa en el eje de las abscisas el tamaño de grano en mm (correspondiente con la apertura en la malla de los diferentes tamices) y en el eje de las ordenadas el porcentaje en peso de la muestra que pasa cierto tamaño de abertura de malla.

Cuando se ha obtenido la curva granulométrica se obtiene el diámetro  $d_{50}$ , que representa el diámetro en mm al cual el 50% en peso de la muestra es igual o menor. Este valor se consigue buscando la intercepción de la línea paralela al eje de las abscisas que pasa por el valor de 50% que pasa la malla con la curva granulométrica, para después proyectar el punto de intersección ortogonalmente al eje de las abscisas y encontrar  $d_{50}$  en mm.

Con la interpretación de la curva granulométrica, la descripción realizada en campo, el análisis de los valores de porcentaje retenido y porcentaje que pasa la malla para cada muestra, se afinó y detalló su clasificación. A partir de lo anterior se obtuvieron valores de porosidad total para cada muestra, con base en las tabulaciones que se muestran a continuación en la tabla II.1.

**Tabla II.1 Relación de porosidades total y eficaz de diversos materiales\***

Material		Porosidad total %					Porosidad eficaz %
Tipo	Descripción	Media	Normal		Extraordinaria		Media
			Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	
Rocas masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	<0.2
	Caliza masiva	8	15	0.5	20		<0.5
	Dolomía	5	10	2			<0.5
Rocas metamórficas		0.5	5	0.2			<0.5
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	<5
	Escorias	25	80	10			20
	Pumitas (pumicitas)	85	90	50			<5
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0.1			<1
	Basaltos vacuolares	12	30	5			5
Rocas sedimentarias consolidadas	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0.5	<2
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10
	Creta blanda	20	50	10			1
	Caliza detrítica	10	30	1.5			3
Rocas sedimentarias sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15
	Dunas	35	40	30			20
	Gravas	30	40	25	40	20	25
	Loess	45	55	40			<5
	Arenas	35	45	20			25
	Depósitos glaciares	25	35	15			15
	Limos	40	50	35			10
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2
	Suelos superiores	50	60	30			10

\*Modificada de Custodio y Llamas, 1983

Existen diferentes maneras de obtener el valor la de conductividad hidráulica (K) en medios porosos, por ejemplo a través de pruebas de bombeo, pruebas slug y ensayos de trazadores, llevados a cabo en el campo, o bien con pruebas de laboratorio y cálculos de las llamadas fórmulas empíricas (Odong, 2007), entre las que se encuentran las ecuaciones de Hazen y Kozeny-Carman.

La distribución en los tamaños de partículas en un medio granular poroso está íntimamente relacionado con la conductividad hidráulica (Freeze y Cherry, 1979). Por ello y debido a la naturaleza de los datos disponibles, la conductividad hidráulica se obtuvo con los resultados del análisis granulométrico y la ecuación de Kozeny-Carman en la que se incluyen los valores de porosidad y diámetro  $d_{50}$ .

Es común utilizar la ecuación de Hazen para el cálculo de la conductividad hidráulica de un medio poroso a partir de su análisis granulométrico, debido a su simplicidad y fácil memorización. Sin embargo la ecuación de Kozeny-Carman es más precisa porque incluye la distribución completa del tamaño de grano, forma de los granos, porosidad y las propiedades del fluido que ocupan los vacíos, mientras que la ecuación de Hazen se basa en las propiedades del fluido y el diámetro  $d_{10}$  (diámetro efectivo) de la curva granulométrica únicamente (Carrier, 2003; Odong, 2007).

La ecuación de Kozeny-Carman no aplica para medios porosos granulares donde predomine el material fino (sobre todo arcillas) debido a que no considera la existencia de reacciones electroquímicas entre el suelo y el agua. Tampoco es aplicable a medios porosos con tamaños de grano muy grueso (gravas con diámetro efectivo mayor a 3 mm), donde el flujo de agua a través de los intersticios es predominantemente turbulento y no laminar (Carrier, 2007). Como es posible observar en el apartado IV.3.3, análisis granulométrico del capítulo IV resultados, las muestras analizadas no cumplen con las condiciones antes descritas por lo que es posible aplicar la ecuación de Kozeny-Carman.

Esta ecuación se expresa de diferentes maneras pero se utilizó la que se muestra a continuación por ser la conveniente para los datos obtenidos en el análisis granulométrico.

$$K = \left[ \frac{\rho g}{\mu} \right] \left[ \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \right] \left[ \frac{d_m^2}{180} \right] \quad \dots (1)$$

donde

$$K = \text{conductividad hidráulica} \left( \frac{cm}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

$$g = \text{aceleración debida a la gravedad} \left( \frac{cm}{s^2} \right)$$

$$\mu = \text{viscosidad del fluido} \left( \frac{g}{cm \cdot s} \right)$$

$\varepsilon = \text{porosidad total del medio geológico (adim)}$

$d_m = \text{diámetro medio} = d_{50} \text{ (adim)}$

La ecuación anterior fue tomada de datos no publicados del Dr. Luis Miguel Domènech (2008), de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Es importante aclarar que en la ecuación los términos referentes a las propiedades del fluido en el presente trabajo se refieren al agua, de manera que se tiene lo siguiente:

$$\frac{\rho g}{\mu} = \frac{1}{1.02 \times 10^{-5}} \left( \frac{1}{\text{cm} \cdot \text{s}} \right) \quad \dots (2)$$

Esta cifra se obtuvo a partir del valor publicado en la guía de la United States of Environmental Protection Agency (EPA) en 2004. La cifra antes mencionada es:

$$\frac{\mu}{\rho g} = 1.02 \times 10^{-5} \text{ (cm} \cdot \text{s)} \quad \dots (3)$$

cuando la del temperatura del agua es 20°C.

Se calcularon los descensos estimados en el pozo a realizar a través de la ecuación de Thiem desarrollada en 1906 (Martinez Alfaro P., 2005) para acuíferos confinados (el uso de esta ecuación se justifica en el Capítulo V Discusión) en función de la conductividad hidráulica promedio asignada al acuífero y distintos caudales de bombeo (5, 6, 7, 8, 9 y 10  $\frac{L}{s}$ ). Esta ecuación se utilizó por ser el acuífero del tipo libre en la zona de interés.

La ecuación de Thiem se puede expresar de la siguiente forma si los descensos provocados por el bombeo son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero:

$$s \approx \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad \dots (4)$$

donde

s= descenso a causa del bombeo

Q= caudal de bombeo

T= transmisividad del acuífero

R= radio de influencia del pozo

r= radio del pozo

A su vez, T y R se calcularon de la siguiente manera:

$$T=K \cdot b \quad \dots (5)$$

donde

T= transmisividad del acuífero

K= conductividad hidráulica del acuífero

b= espesor saturado del acuífero

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{Tt}{\theta_{ef}}} \quad \dots (6)$$

siendo

R= radio de influencia del pozo

T= transmisividad

t= tiempo de bombeo

$\theta_{ef}$ = porosidad eficaz de la zona saturada

# CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO NATURAL

## III.1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

### III.1.1. Climatología de la zona

En la zona de estudio el clima predominante es del tipo semiseco templado (obsérvese figura III.1), de acuerdo con la información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Este clima abarca gran parte de la zona conocida como el Valle del Mezquital, en donde la temperatura media anual es de 14.8 °C y la precipitación total anual es de 543.4 mm con una máxima incidencia en septiembre de 117.4 y una mínima en enero de 8 mm.

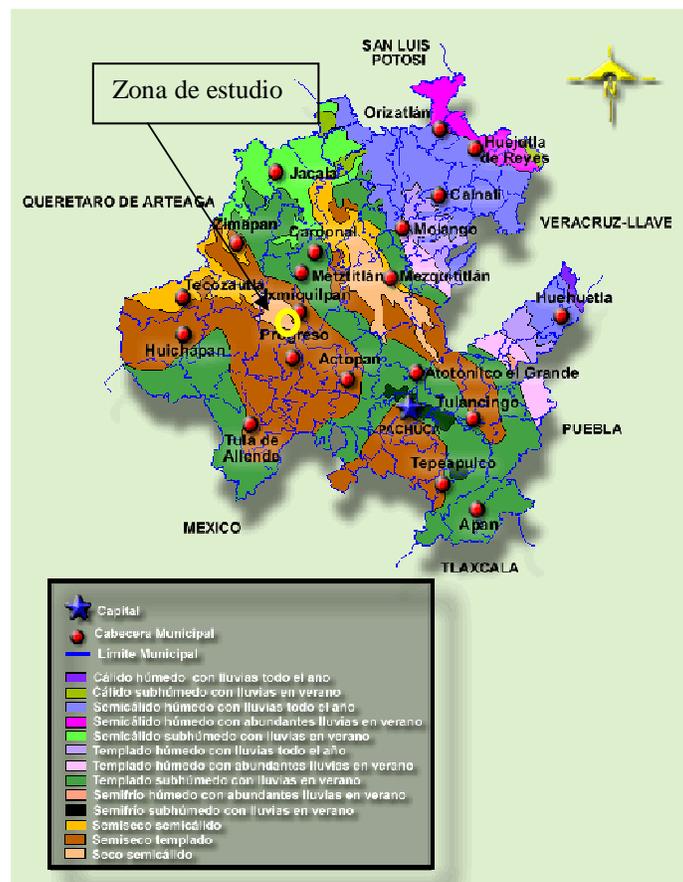


Figura III.1. Mapa de climas de Hidalgo, donde se señala el área de estudio.

Fuente: INEGI, 2010



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.

Sin embargo, los valores de precipitación y de temperatura media anual para el municipio de Alfajayucan pueden tener mayor similitud con los registrados en la estación climatológica ubicada en la ciudad de Ixmiquilpan debido a su cercanía y a la experiencia propia.

En la tabla III.1, se muestran los valores medios anuales de precipitación y temperatura registrados en la estación de Ixmiquilpan.

**Tabla III.1. Valores de precipitación y temperatura promedio registrados en la estación Ixmiquilpan (INEGI, 2009)**

Periodo	Precipitación promedio (mm)	Temperatura promedio (°C)
1951-1998	346.9	18.1

Como puede observarse en la tabla anterior, el valor de precipitación es bajo, por consecuente la cantidad de recarga del acuífero es baja.

### ***III.1.2. Contaminación provocada por las aguas residuales en la zona de estudio***

Como se ha mencionado anteriormente la zona de estudio está inmersa en el Valle del Mezquital, donde se localizan distintas zonas de riego que utilizan aguas residuales generadas en las cuencas del Valle de México y del Río Tula. En la tabla III.2 se muestran las cantidades de agua residual generada, de acuerdo con datos del Organismo de Cuenca del Valle de México, perteneciente a la CONAGUA, para la región hidrológico-administrativa XIII Valle de México.

**Tabla III.2. Caudales de agua residual generada en la región hidrológico-administrativa XIII Valle de México (CONAGUA, 2009)**

Cuenca	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Total (m <sup>3</sup> /s)
Valle de México	39.82	52.8
Tula	12.98	

De los  $52.8 \left(\frac{m^3}{s}\right)$  generados en total, aproximadamente  $41.25 \left(\frac{m^3}{s}\right)$  son captados por el drenaje y el resto es vertido a cuerpos de agua superficial o en las calles.

Los caudales de agua residual tratada para ambas subcuencas son  $5.2 \left(\frac{m^3}{s}\right)$  y  $1.9 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s}\right)$ .

Esto implica que de los  $41.25 \left(\frac{m^3}{s}\right)$  de agua residual generada,  $36.0481 \left(\frac{m^3}{s}\right)$  son utilizados para los distintos distritos de riego localizados principalmente en el estado de Hidalgo.

De manera particular la zona de interés se ubica dentro del distrito de riego número 100 Alfajayucan., donde los cultivos principales son alfalfa, avena, maíz y chiles.

La fotografía III.1, muestra uno de los canales de riego en los alrededores de San Agustín Tlaxiaticapa donde es posible observar la espuma en el agua residual y el cauce del canal manchado por la gran cantidad de contaminantes disueltos en el agua.



**Fotografía III.1. Canal de riego de aguas residuales en las cercanías de San Agustín Tlaxiaticapa**

En algunos sectores los cauces de los canales de riego no se encuentran revestidos por algún material de baja permeabilidad, o bien, existen fracturas en el concreto y mampostería de revestimiento, lo que permite la infiltración del agua contaminada al subsuelo de la zona.

Esta situación constituye un riesgo para la calidad del agua subterránea en la zona, entre otros problemas, como la contaminación de aguas superficiales, deterioro de la fauna, flora y de la salud de los habitantes de la región.

### ***III.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL***

El área de estudio está constituida por varias unidades litoestratigráficas de origen sedimentario, tanto marinas como continentales, que tienen una relación estrecha con el agua subterránea de la región; por eso es importante entender su comportamiento, distribución y génesis. Las más antiguas fueron depositadas a finales del Jurásico y durante todo el Cretácico evidenciando una transgresión que va desde un ambiente de transición en la costa que evolucionó paulatinamente hacia un ambiente de plataforma calcárea, hasta finalmente llegar a un ambiente de abanicos abisales. Las unidades pertenecientes al Terciario representan una regresión que se observa en el depósito de unidades de carácter continental (Facultad de ingeniería UNAM, 1985).

En la región también se pueden observar unidades litoestratigráficas de origen volcánico relacionadas con la evolución de la FVTM, como intrusivos, depósitos piroclásticos y derrames que afloran en el área de estudio, los cuales corresponden con el vulcanismo más antiguo de la FVTM. Básicamente son estas rocas volcánicas las que forman los acuíferos en la región.

### ***III.2.1. Estratigrafía***

#### *Cretácico*

#### Formación El Abra

Se conoce como Formación El Abra al complejo calcáreo de tipo plataforma, de edad correspondiente al Albiano-Cenomaniano, que se halla sobre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y en la Faja de Oro. La localidad tipo se encuentra en el Cañón del Abra sobre la carretera Ciudad Valles, San Luis Potosí – Tampico, Tamaulipas, aproximadamente 10 km al oriente de Ciudad Valles.

El término “Caliza El Abra” fue originalmente citado por Garfias (1915) y aplicado por primera vez a través de Powers (1925) a las calizas de los campos petroleros de la Faja de Oro (Carrillo, 1961).

De manera general, la Formación El Abra, en el área de la Plataforma de Actopan, consiste en biopelmicritas, biohermas y biostromas de rudistas y dolomías, las primeras fueron depositados sobre una plataforma que fue en parte marina de muy poca profundidad y en parte de planicie de marea con posibles porciones de sedimentos sujetos a erosión; las segundas tienen que ver con un proceso de dolomitización durante la etapa de diagénesis (Carrasco B., 1970).

Consiste en calizas masivas de color crema amarillento y gris crema constituidas por un conjunto de bancos arrecifales (de caprínidos y radiolítidos), separados uno del otro por calcarenitas, calcarenitas oolíticas y clásticos biógenos, el cementante entre los fósiles es generalmente calcita de cristales finos. Estas rocas son generalmente compactas y las principales zonas porosas se hallan en los arrecifes, en los bancos oolíticos y en algunas cavidades dejadas por los fósiles; la porosidad secundaria, producida por lixiviación y fracturamiento es grande, desarrollando un sistema complejo de grietas y cavernas (Carrillo, 1961).

El espesor total de la Formación el Abra, en la Plataforma de Actopan, no se conoce, sin embargo Carrasco (1970) midió un espesor de 2098 m, en la sección estratigráfica de San

Miguel de la Cal, en Actopan Hidalgo, sin haberse encontrado la base ni la cima de esta Formación.

En el área de estudio esta formación se encuentra formando parte del basamento del acuífero a profundidades mayores de 500 m, pero puede ser de interés hidrogeológico a nivel regional ya que tiene rocas de alta energía e intenso fracturamiento, que corresponden a rocas con alto potencial de contener fluidos.

### Formación Soyatal

Es una secuencia de depósitos lítico-calcáreos de tipo flysch (es decir, depositados al mismo tiempo que se daba un evento tectónico), que consiste de conglomerados calcáreos, calizas y calizas arcillosas de color pardo y gris oscuro, intercaladas con lutitas calcáreas. Esta unidad se vuelve más arcillosa hacia su cima y refleja un ambiente de depósito cercano a la costa con aporte de terrígenos.

Dentro del área de Ixmiquilpan son muy pobres los afloramientos de la Formación Soyatal, localizándose estos únicamente como pequeños afloramientos en la zona noroeste del área. Esta Formación ha sido fechada como del Turoniano-Campaniano. La unidad presenta baja permeabilidad por su contenido arcilloso, por lo cual dentro de la región no representa una formación de interés hidrogeológico, salvo como un límite superior de un acuífero confinado, ya que estas rocas tienen un comportamiento impermeable.

### Formación Mezcala

Esta unidad está constituida por sedimentos marinos predominantemente detríticos conformando una alternancia de areniscas, limolitas y lutitas calcáreas, tal como se observa en la localidad tipo de esta Formación, localizada en el poblado de Mezcala, Guerrero. Esta Formación se encuentra únicamente en el área de Ixmiquilpan y los afloramientos no son muy extensos además de que se encuentran esparcidos dentro de toda el área a excepción de la zona sureste de la misma. Esta unidad tiene poca importancia para nuestros fines, por su baja permeabilidad, pero es la que limita la parte inferior del acuífero libre y la parte

superior de un posible acuífero confinado dentro de las facies de alta energía de la Formación El Abra.

### *Cenozoico*

#### Formación Tarango

El nombre Formación Tarango se utiliza para designar una secuencia que consiste en tobas híbridas y lacustres cementadas por una matriz arcillosa, así como arenas, paleosuelos, caliche y conglomerados semicompactos constituidos por clastos subredondeados de caliza y basalto, empacados en una matriz arenosa con cementante calcáreo. Las tobas son de composición silícea y por lo general contienen fragmentos de pómez. Los horizontes volcanoclásticos están compuestos por ceniza retrabajada, algunas veces con estratificación cruzada. Los depósitos lacustres consisten principalmente de arcillas, limos y arenas finas. Los conglomerados se encuentran como relleno de paleocanales y como depósitos de abanicos aluviales. Dentro de esta Formación se presentan también depósitos de flujos piroclásticos y lahares (Facultad de ingeniería UNAM, 1985).

En el área de estudio, esta unidad se encuentra únicamente en las zonas de Tasquillo e Ixmiquilpan; en el primer caso se encuentra cubriendo la parte austral de la Cuenca Zimapan. Aquí la Formación Tarango corresponde a una edad del Pleistoceno y conforma una discordancia angular con los estratos más antiguos. En la zona de Ixmiquilpan ésta corresponde al Plioceno Superior y los afloramientos son extensos. Esta unidad sobreyace discordantemente a cualquiera de las unidades mesozoicas o terciarias del área. Por su posición estratigráfica a esta unidad se le ha asignado una edad correspondiente al Plioceno-Pleistoceno.

#### Intrusivo Diorita

Estas rocas se localizan en el área de Ixmiquilpan y afloran principalmente en la Cañada La Palma al norte del poblado Cantamayé. La unidad, que intrusión a las Formaciones El Abra, Soyatal y Mezcala, está conformada por dioritas de hornblenda de textura porfídica con fenocristales de hornblenda y plagioclasas zonadas en una matriz fanerítica. Estas rocas

intrusivas se encuentran emplazadas como pequeños apófisis de pocos metros de diámetro y como diques-diquestratos poco espaciados con espesores menores a los dos metros. Esta unidad ha sido fechada por su relación de intrusión como del Terciario Inferior.

#### Toba Donguinyó (Donguiño)

Esta unidad, que también es conocida como toba San Francisco, fue nombrada por Segerstrom (1961) para unos afloramientos ubicados a lo largo de la carretera Ixmiquilpan-Huichapan, en el cruce con el arroyo Donguinyó.

La Formación comprende una serie de ignimbritas altamente soldadas, que conforman un paquete con unidades de flujo sucesivas con espesores desde 0.5 hasta 6 m. Las ignimbritas exhiben coloración gris o café oscuro y contienen abundante fiamme negro. La edad más representativa que se ha estimado recientemente para esta unidad es de  $5.0 \pm 0.3$  Ma (Aguirre-Díaz, et al. 2009). Los afloramientos de esta unidad se encuentran distribuidos al noreste, norte y suroeste del área.

#### Toba Huichapan

Consiste en una secuencia de depósitos de lapilli de pómez de caída, oleadas piroclásticas, ignimbritas sin soldar menores y la ignimbrita mayor de Huichapan, que cubre una gran extensión, llegando hasta 60 km al oeste de su fuente y con espesores mínimos de 60 m en sus facies proximales.

Dentro del área de estudio esta unidad existe únicamente en la zona de Huichapan y aflora ampliamente en toda la parte norte de ésta así como en un sector de menor tamaño en el sureste de la misma. Recientemente Aguirre-Díaz et al. (2009), fecharon esta unidad en  $4.0 \pm 0.2$  Ma.

De acuerdo a las observaciones de campo, esta unidad representa potencial para acumular agua subterránea en la región. Este punto se discutirá más adelante.

### ***III.2.2. Estructuras Regionales***

En el área de Huichapan existen evidencias de deformación pre-Cenozoica correspondientes al dominio dúctil y dúctil-frágil, representadas por una cabalgadura y dos sinclinales. En la zona norte se localiza la Cabalgadura Pardo que tiene una longitud de 2.5 km aproximadamente. La estructura se orienta de norte a sur con vergencia al este-noreste. El primer sinclinal denominado el Barrón está ubicado al oriente del poblado el Apartadero y tiene una orientación general casi N-S con recumbencia al E-NE. El segundo sinclinal llamado El Ahorcado se encuentra en el límite centro norte del área y tiene una orientación general al norte 25°. Procesos de deformación frágil se observan en las rocas relacionadas con la formación de la Caldera de Huichapan, que se encuentra delimitada por las fallas normales El Astillero, Las Víboras y Huichapan.

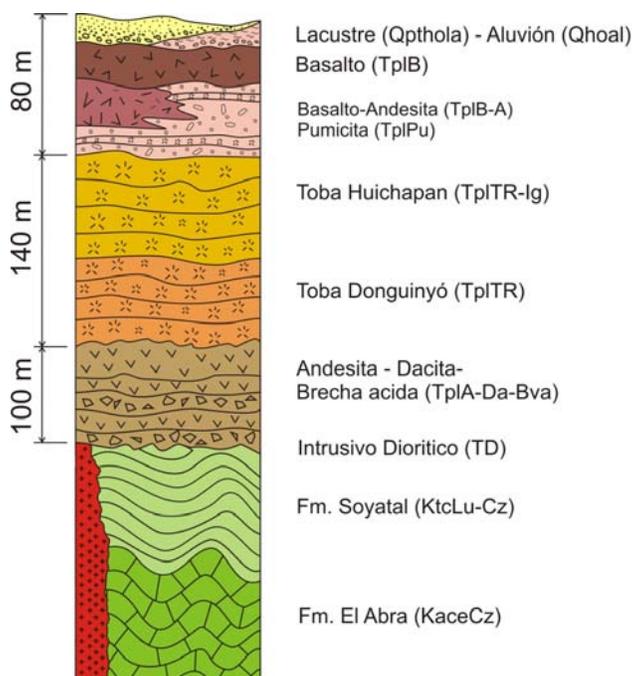
En la carta Ixmiquilpan (SGM, 1995), se presentan los anticlinales Ixmiquilpan, Ventorrillo, Xuchitlán y San Miguel de la Cal, así como los sinclinales El Tephe, Xuchitlán y Yolotepec. El primero de los anticlinales se localiza a 5 km al suroeste Ixmiquilpan, tiene una longitud aproximada de 5 km y un ancho de 3 km. La orientación general de esta estructura es de 5° SE-NW. Se observan numerosas fracturas en las unidades que afloran en este anticlinal, algunas selladas por calcita y otras por arcillas.

### ***III.3. GEOLOGÍA LOCAL***

#### ***III.3.1. Geología Superficial***

En el área de estudio afloran principalmente depósitos volcánicos del Cuaternario, los cuales están representados por tobas arenosas y productos piroclásticos, así como también flujos de lava y aglomerados de composición andesítica y basáltica. De igual forma, y aunque éstas unidades no afloran superficialmente, dentro del área de estudio se presentan depósitos de rocas volcánicas y productos piroclásticos del Terciario, con edades del Mioceno al Plioceno.

A continuación se hace una breve descripción de dichas unidades, describiéndolas de la más antigua a la más reciente. La columna estratigráfica local se presenta en la figura III.2.



**Figura III.2. Columna estratigráfica local**

### ***Formación El Abra (KaceCz)***

Esta unidad conforma el basamento regional del área de estudio, y se encuentra aflorando hacia el oriente de San Agustín Tlaxiaticapa, en el Cerro Dorodeje, del otro lado de la sierra, al Este del poblado de Chilcuautla; los afloramientos de esta formación tienen una distribución muy amplia y han sido explotados como bancos de material (fotografía III.2).

Esta unidad presenta rasgos de fracturamiento y disolución (vúgulos entre 1 y 15 cm) por lo cual es probable que en el subsuelo permita el flujo del agua subterránea, pero esta unidad se encuentra por debajo de los 500 m de profundidad del poblado de San Agustín Tlaxiaticapa, por lo cual se descarta como objetivo hidrogeológico a corto plazo dentro de este estudio; sin embargo podría formar parte de un acuífero confinado, ya que se encuentra cubierta por la Formación Soyatal que corresponde a una roca impermeable.



**Fotografía III.2. Calizas de la Formación El Abra (KaceCz) que presentan evidencias de disolución y fracturamiento**

### ***Formación Soyatal (KtcLu-Ar).***

Esta unidad está formada por calizas, margas y lutitas en estratificación delgada se encuentran sobreyaciendo la Formación El Abra, en forma concordante en algunos puntos y discordantes en otros, debido a la diferencia de la competencia de las rocas en el momento de la deformación.

La unidad se encuentra aflorando junto con la Formación El Abra en el Cerro Venu, al sur de Ixmiquilpan principalmente y constituye parte del basamento del acuífero.

### ***Intrusivo Diorítico (TD)***

Esta unidad formada por un intrusivo de composición diorítica, se encuentra aflorando en la porción noreste del área de estudio, junto con la Formación El Abra; se observa muy intemperizada y fracturada. Atraviesa a las unidades cretácicas, pero no a las demás

unidades terciarias. Por tal motivo esta unidad forma parte de la base del acuífero y no representa interés hidrogeológico alguno para el área de estudio (fotografía III.3).



**Fotografía III.3. Intrusivo diorítico TD**

### ***Derrames de composición andesítica y brechas volcánicas ácidas (TplA-Da-Bva)***

Unidad formada por varias secuencias de derrames de composición andesítica ampliamente fracturados, brechas volcánicas ácidas y algunos cuerpos dioríticos, procedentes de la actividad magmático-volcánica durante el Mioceno del volcán conocido como Cerro el Pilón al sureste del área de estudio; el espesor de la unidad es variable, ya que los depósitos de las brechas y derrames son de menor espesor conforme la distancia al centro de efusión es mayor.

La unidad se encuentra en contacto con las unidades de calizas de las formaciones El Abra y Soyatal de forma discordante, se encuentra aflorando a lo largo de la sierra que va del Cerro el Pilón hacia el Cerro la Cruz, en la parte oriental del área de estudio, es importante mencionar que esta unidad presenta alteraciones hidrotermales, mismas que pueden observarse cercanas al poblado de Cerro Azul (fotografía III.4).

Por su carácter arcilloso todo este paquete de unidades volcánicas retienen el agua pero no permiten que esta fluya en el subsuelo por lo cual no son de interés hidrogeológico.



**Fotografía III.4. Andesitas fracturadas y brecha volcánica con alteración hidrotermal de la unidad TplA-Da-Bva**

### ***Depósitos piroclásticos Toba Donguinyó (TplTR)***

Esta unidad está constituida por depósitos piroclásticos que corresponden a depósitos de ceniza estratificada, horizontes de oleadas piroclástica y flujos de pumicita poco consolidada, la cual llega a presentar alteración de los fragmentos de pómez, aunque en algunas porciones llega a presentar soldamiento parcial, el espesor de esta unidad se estima de por lo menos 50 m.

La Toba Donguinyó se encuentra de manera discordante a las unidades anteriores, la edad de los depósitos corresponden al Plioceno.

La unidad se encuentra aflorando hacia el suroeste del área de estudio entre la presa Dolores y el poblado de San Juan El Sabino, constituye parte del acuífero dentro de la región (fotografía III.5).

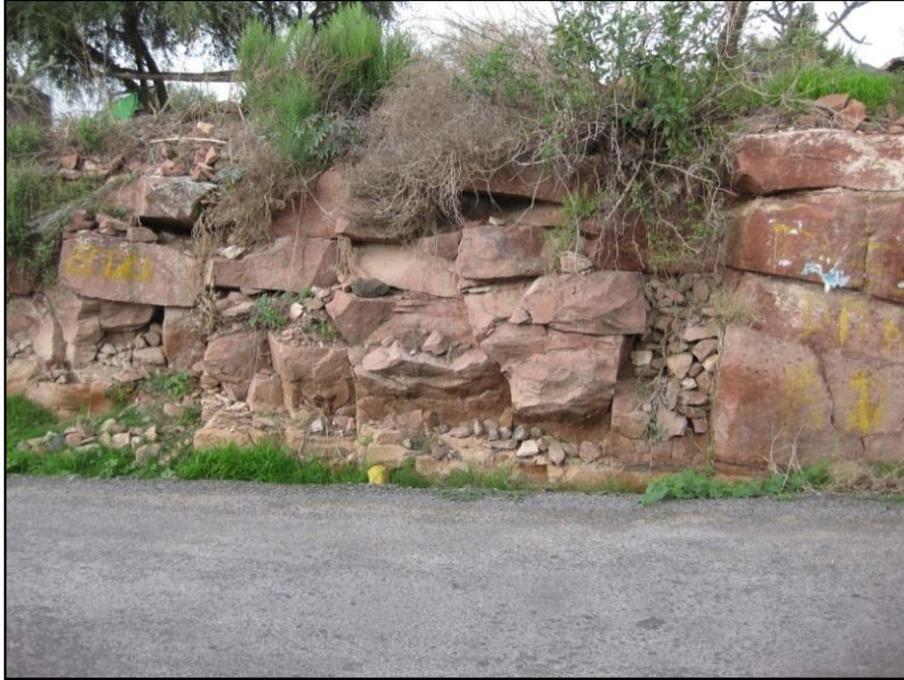


**Fotografía III.5. Depósitos piroclásticos de la Toba Donguinyó TplTR**

#### ***Depósitos piroclásticos Toba Huichapan (TplTR-Ig)***

La Toba Huichapan consiste en un conjunto de flujos piroclásticos parcialmente soldados, con fenocristales bien formados, orientados y ligeramente alineados debido a la compactación. Además esta unidad presenta un fuerte fracturamiento, ya que se pueden apreciar fracturas con una abertura de más de 1 cm, aunque en algunos casos se encuentran rellenas de material arcilloso.

Se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Toba Donguinyó y aflora hacia el noroeste del área de estudio en los poblados de San Francisco y Decá. Esta unidad es de gran interés hidrogeológico, ya que al encontrarse fracturada permite el flujo de agua subterránea (fotografía III.6).



**Fotografía III.6. Depósitos piroclásticos de ignimbritas soldadas de la unidad Toba Huichapan TplTR-Ig**

***Depósito piroclásticos pumíticos con intercalaciones de flujos andesíticos y basálticos (TplPu-A-B)***

Unidad formada por un depósito pumítico de caída libre de composición riolítica, en su mayor parte los fragmentos de pómez se encuentran soportados grano a grano, pero hay porciones en las que se encuentran soportados por una matriz de ceniza fina. Se encuentra intercalada con derrames de composición basáltica y andesítica hacia el poniente del área de estudio, concordantes a la Toba Huichapan; se les atribuye una edad pliocénica. Algunos autores correlacionan estos depósitos con la Formación Tarango (Facultad de ingeniería UNAM, 1985, Alvarado Méndez et al. 2005)

Estos depósitos forman gran parte del acuífero y tienen una distribución amplia, por lo cual es de interés hidrogeológico para este estudio, además de que se encuentran aflorando en el poblado de San Agustín Tlaxiaticapa (fotografía III.7).



**Fotografía III.7. Depósitos piroclásticos pumíticos de la unidad TplPu**

### ***Derrames basálticos (TplB)***

Esta unidad está formada por derrames de composición basáltica, que forman mesetas dentro del área de estudio, los basaltos presentan pocas vesículas y se encuentran fracturados; están en contacto con los depósitos pumíticos en forma concordante. Estos derrames basálticos son de edad cuaternaria y se encuentran aflorando hacia el suroeste del poblado de San Agustín Tlalixticapa a un costado de la presa Rojo Gómez. La unidad a pesar de no formar parte del acuífero, representa un área importante que permite la infiltración del agua de lluvia y así contribuir a la recarga del acuífero (fotografía III.8).



**Fotografía III.8. Basaltos de la unidad TplB**

***Depósitos lacustres (Qpthola)***

Unidad formada por depósitos de arena y grava con bajo nivel de compactación. Presenta horizontes de oleada piroclástica, estratos de toba riolítica con abundante pómez, arenas medias y finas con estratificación cruzada, acumulados en un ambiente lacustre. Estos depósitos se distribuyen ampliamente en el valle incluyendo San Agustín, en donde se pueden observar afloramientos (fotografía III.9).



**Fotografía III.9. Depósitos lacustres de la unidad Qpthola**

### ***Depósitos Aluviales (Qhoal)***

Sobre las rocas volcánicas del Cuaternario, se encuentran los depósitos aluviales, que cubren en algunos sectores a toda la secuencia volcánica descrita anteriormente. Los depósitos aluviales están compuestos por sedimentos del tamaño de arenas y en menor proporción por finos como limos y arcillas, que están parcialmente cubiertos por suelos de naturaleza limosa y limo-arenosa. Estos depósitos afloran en la porción central del área de estudio y constituyen la zona no saturada del acuífero, los espesores máximos se presentan en el centro de las depresiones y se adelgazan hacia las márgenes de las llanuras.

A continuación se presenta una tabla resumen con los puntos de verificación (tabla III.3) y un mapa geológico de la zona de estudio.

**Tabla III.3. Coordenadas UTM de los puntos de verificación geológica**

Clave	Descripción	Importancia hidrogeológica	Coordenadas UTM 14N	
			X	Y
<b>SAT1</b>	Basalto, basalto-andesítico	Zona de recarga	465,403	2,254,549
<b>SAT2</b>	Arenisca (litarenita)	Acuífero	465,430	2,254,558
<b>SAT4</b>	Brecha volcánica	Zona impermeable	467,033	2,255,550
<b>SAT5</b>	Toba lítica arenosa	Acuífero	465,371	2,255,472
<b>SAT6</b>	Depósitos lacustres	Acuífero	465,260	2,255,259
<b>PVG1</b>	Caliza cristalina y caliza grainstone	Basamento del acuífero	478,305	2,251,555
<b>PVG2</b>	Toba lítica	Acuífero	473,505	2,262,739
<b>PVG7</b>	Brecha volcánica ácida (alteración hidrotermal)	Zona impermeable	468,897	2,248,817
<b>PVG8</b>	Intrusivo diorítico	Zona impermeable	472,228	2,260,856
<b>PVG9</b>	Andesita	Zona impermeable	470,167	2,248,671
<b>GS1</b>	Basalto, basalto-andesítico	Zona de recarga	454,258	2,249,193
<b>GSP1</b>	Toba riolítica poco consolidada	Zona de recarga	463,212	2,248,744
<b>GD1</b>	Ignimbrita fracturada	Acuífero	458,713	2,260,914
<b>PVG10</b>	Dacita-Riodacita	Zona impermeable	468,002	2,247,959
<b>PVG11</b>	Ignimbrita fracturada	Acuífero	458,133	2,243,184
<b>PVG12</b>	Basalto	Zona de recarga	456,411	2,241,935

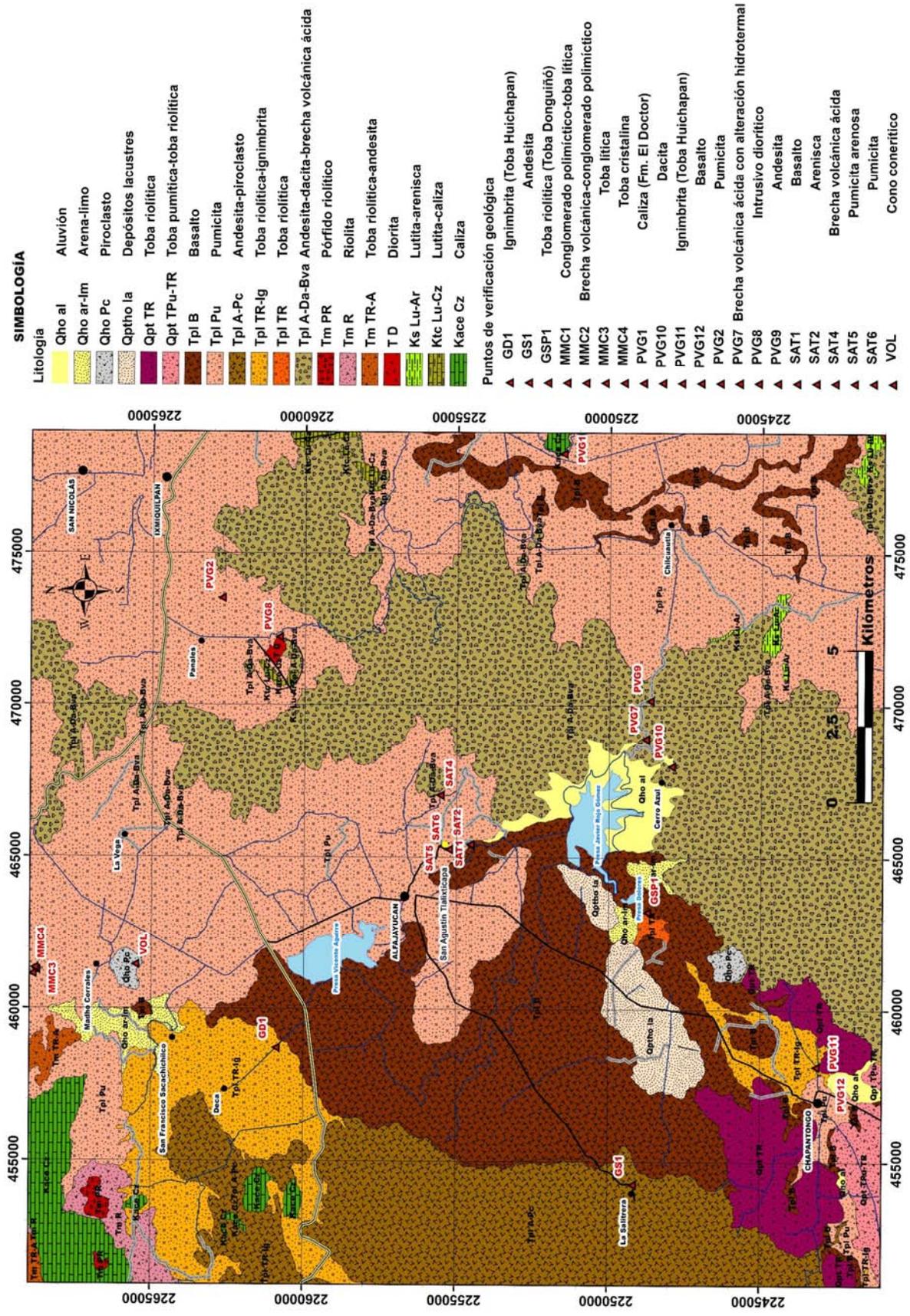


Figura III.10 Puntos de verificaci3n Geol3gica

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS**

### ***IV.1. SECCIONES GEOLÓGICAS***

Para poder tener un contexto sobre la posición, relaciones estratigráficas y espesores de las unidades geológicas que afloran en el área de estudio, se elaboraron dos secciones geológicas representativas en un área que queda cubierta por las cartas Huichapan (F14-C78) e Ixmiquilpan (F14-C79).

La primera de ellas con una orientación E-W cruzando por el poblado de San Agustín Tlalixticapa, en ella se pueden observar la posición de las unidades Formación El Abra (KaceCz), derrames andesíticos y brechas (TplA-Da-Bva), Toba Donguinyó (TplTR), Toba Huichapan (TplTR-Ig) y depósitos de pumicitas (TplPu-A-B), por debajo del poblado mientras que la unidad de derrames basálticos (TplB) solo se encuentra a los costados.

En la segunda sección se pueden apreciar las mismas unidades litológicas pero con una orientación NW-SE.

Cabe mencionar que para tener una mejor perspectiva de las unidades permeables que conforman al acuífero, se marcaron en ambas secciones la ubicación de los pozos cercanos al corte de perfil con su profundidad de perforación (en negro) y nivel estático (línea azul) de acuerdo a la escala acotada.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

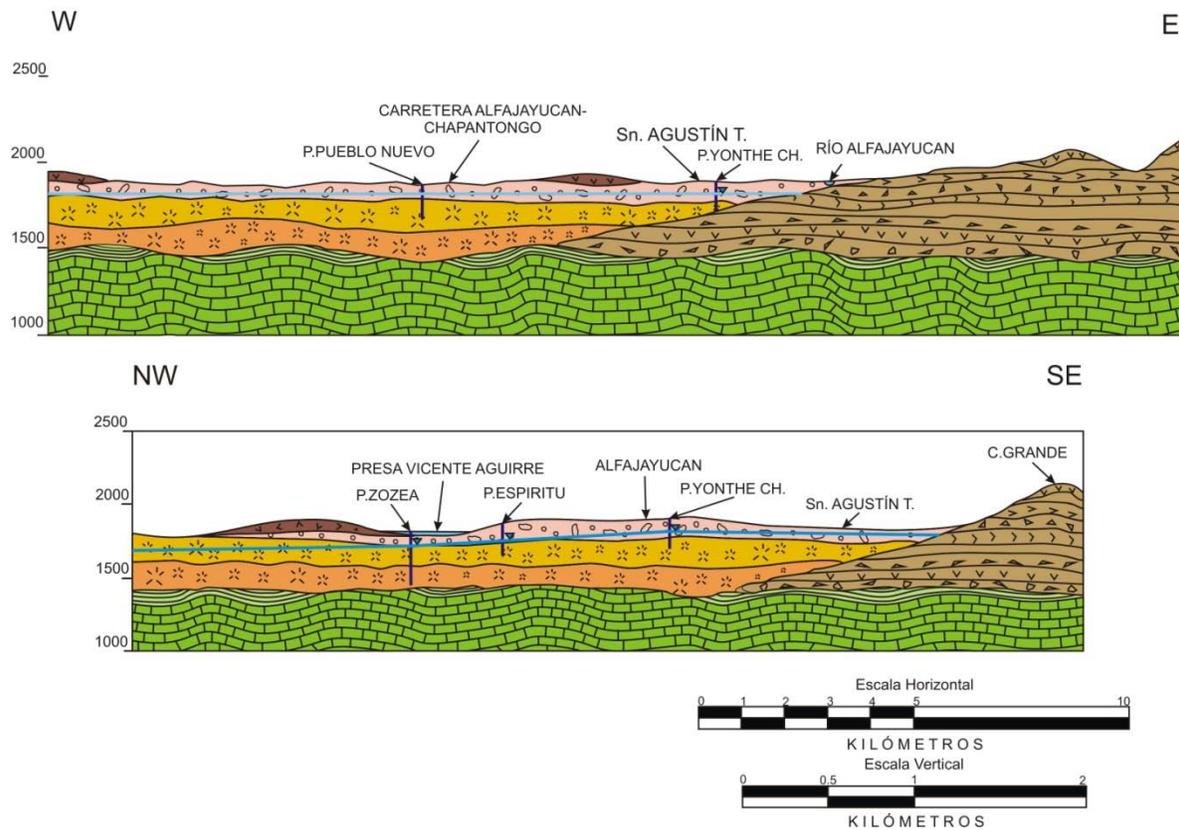


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**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.



UNIDADES LITOLÓGICAS	
	<b>Derrames basálticos (TplB)</b> Derrames de composición basáltica con fracturamiento
	<b>Depósito piroclásticos pumíticos, flujos andesíticos y basálticos (TplPu-A-B)</b> Depósito pumítico de caída libre de composición riolítica, en su mayor parte los fragmentos de pómez se encuentran soportados grano a grano
	<b>Toba Huichapan (TplTR-Ig)</b> Flujos piroclásticos parcialmente soldados, con fenocristales bien formados, orientados, y ligeramente alineados debido a la compactación
	<b>Toba Donguinyó (TplTR)</b> Depósitos de ceniza pseudoestratificada, horizontes de oleadas piroclástica y flujos de pumicita poco consolidada
	<b>Derrames andesíticos y brechas volcánicas acidas (TplA-Da-Bva)</b> Secuencias de derrames de composición andesítica ampliamente fracturados, brechas volcánicas acidas y algunos cuerpos Dioríticos
	<b>Formación Soyatal (KtcLu-Ar)</b> Calizas, margas y lutitas en estratificación delgada
	<b>Formación El Abra (KaceCz)</b> Calizas cristalinas y calizas grainstone, en estratos medianos

Figura IV.1. Secciones geológicas representativas y unidades litológicas

## ***IV.2. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA***

Los TEM realizados durante el proyecto se ubicaron para poder cubrir la mayor área posible en la zona de estudio (figura IV.1). Con la finalidad de poder calibrar la información obtenida a partir de los TEM, los tendidos ALF-1 y ALF-2 se efectuaron junto a los pozos Yonthé Chico (PYC1) y La Nopalera (PNO1) respectivamente, de los cuales se cuenta con información de las profundidades de niveles estáticos: 95.54 m para PYC1 y 82.29 para PNO1, respectivamente. Los tendidos ALF-3 y ALF-4 se llevaron a cabo dentro del poblado de San Agustín Tlaxiaticapa y el tendido AFL-5 se hizo aproximadamente a 2.5 km al sur de dicho poblado, rumbo a la presa Javier Rojo Gómez.

La exploración geofísica fue ejecutada por personal especializado del Instituto de Geofísica de la UNAM, y fue supervisada en todo momento por el Grupo de Hidrogeología.

Para la georreferenciación de los tendidos se utilizó un GPS marca GARMIN, que proporciona para cada sitio sus coordenadas (X, Y), mientras que la elevación fue tomada de Modelos Digitales de Elevación (MDE) adquiridos del portal del INEGI (<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/mde/menu.cfm>). En la tabla IV.1 se presentan las coordenadas de los centros de cada uno de los TEM y su elevación correspondiente.

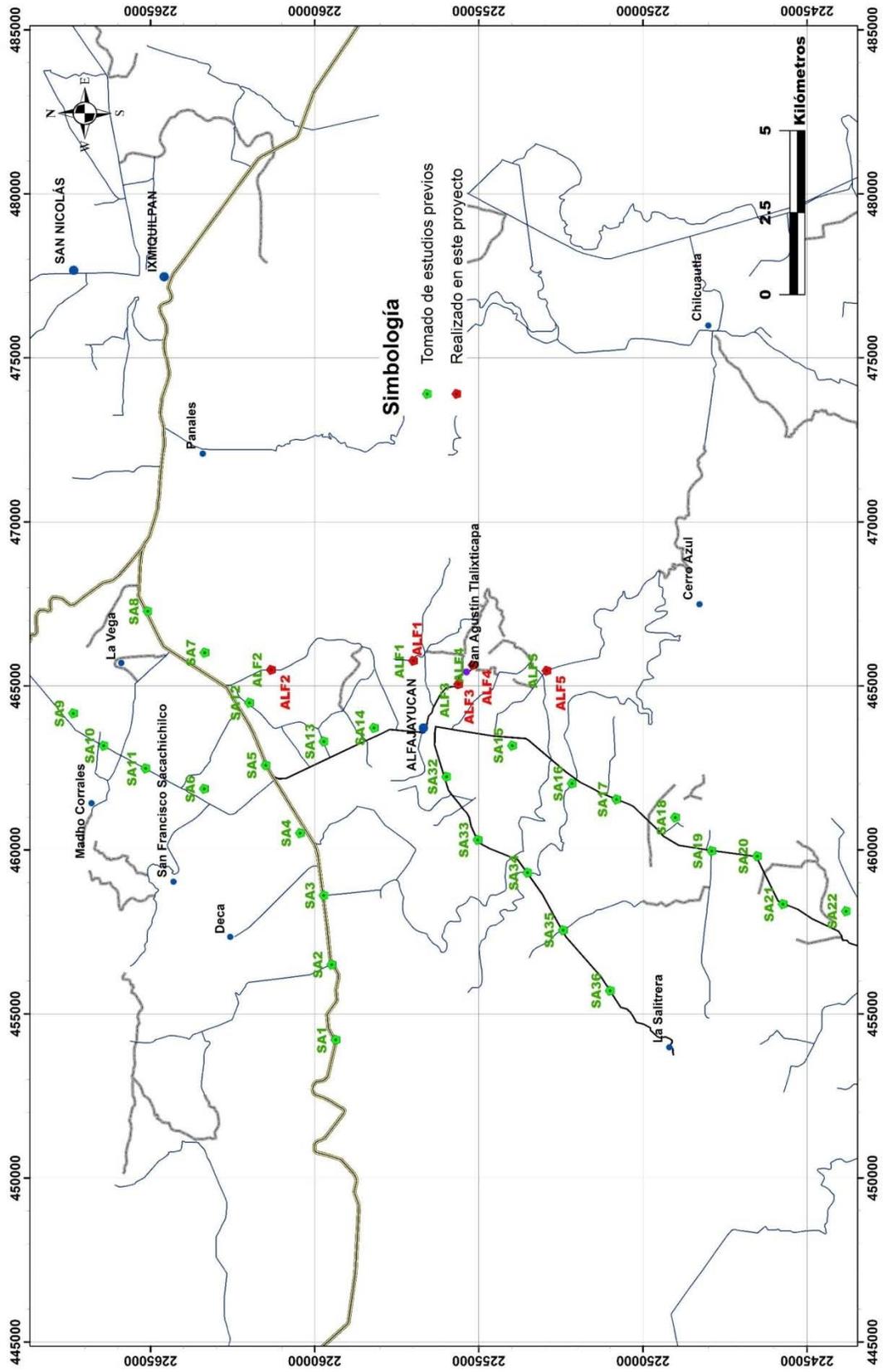


Figura IV.2 Localización de los TEM en la zona de estudio

**Tabla IV.1. Coordenadas de los TEM**

Nombre	X	Y	Elevación	Nombre	X	Y	Elevación
ALF1*	465765.334	2257007.881	1901.118	SA-16	462024.961	2252172.42	1981.388
ALF2*	465489.573	2261340.56	1852.332	SA-17	461540.658	2250819.092	2050.843
ALF3*	465048.764	2255631.498	1886.939	SA-18	460988.906	2249025.841	2046.998
ALF4*	465633.681	2255194.577	1894.63	SA-19	459968.63	2247916.821	2065.983
ALF5*	465463.789	2252942.34	1953.75	SA-20	459808.732	2246531.16	2091.458
SA-1	454210.821	2259375	2028.011	SA-21	458346.704	2245749.552	2083.287
SA-2	456502.47	2259496.506	1898.475	SA-22	458129.909	2243821.411	2130.631
SA-3	458612.353	2259735.598	1881.892	SA-23	457143.556	2242411.161	2151.78
SA-4	460511.352	2260455.175	1846.083	SA-24	456212.811	2240877.26	2203.691
SA-5	462580.438	2261505.994	1875.644	SA-25	456788.594	2238816.703	2252.958
SA-6	461860.465	2263381.364	1793.211	SA-26	457188.474	2237209.205	2265.696
SA-7	466011.355	2263363.114	1816.523	SA-27	458798.08	2235051.553	2098.427
SA-8	467277.261	2265099.189	1802.824	SA-28	459207.407	2233372.398	2061.898
SA-9	464165.171	2267366.237	1793.692	SA-29	459888.167	2231394.457	2010.948
SA-10	463174.626	2266441.394	1829.741	SA-30	456663.172	2235929.929	2235.895
SA-11	462484.004	2265164.483	1801.863	SA-31	454582.486	2235960.445	2235.655
SA-12	464485.24	2262003.025	1851.611	SA-32	462231.793	2255998.743	1899.677
SA-13	463305.918	2259737.843	1894.389	SA-33	460306.8	2255049.273	1939.09
SA-14	463720.452	2258204.317	1882.133	SA-34	459307.6	2253529.982	1965.046
SA-15	463181.495	2253992.606	1920.825	SA-35	457554.334	2252447.204	2089.055
				SA-36	455707.265	2251014.487	2151.54

\*Realizados en este proyecto

### IV.2.1 Secciones Geofísicas

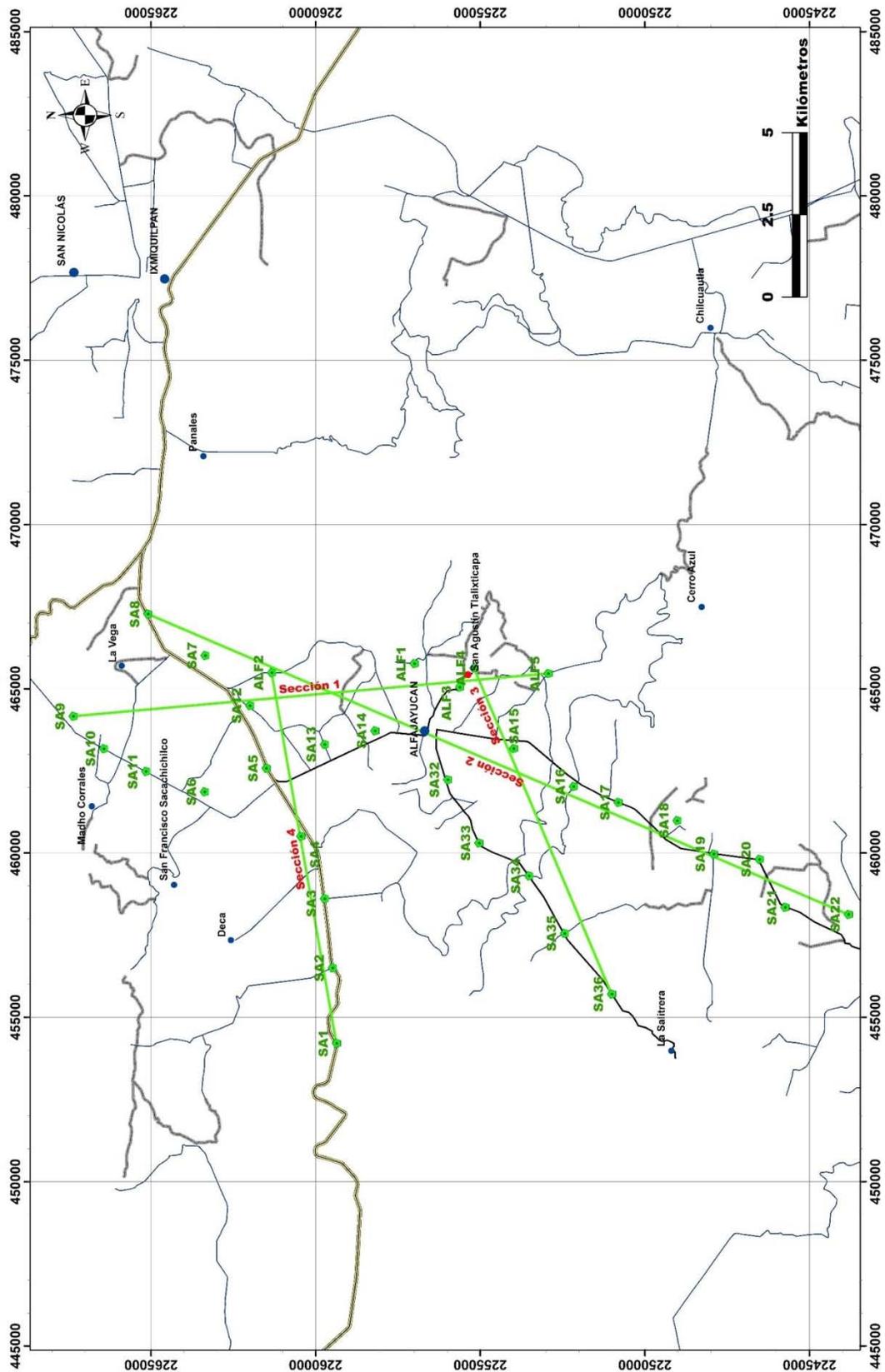


Figura IV.3 Ubicación de las secciones geofísicas

## Sección geofísica 1

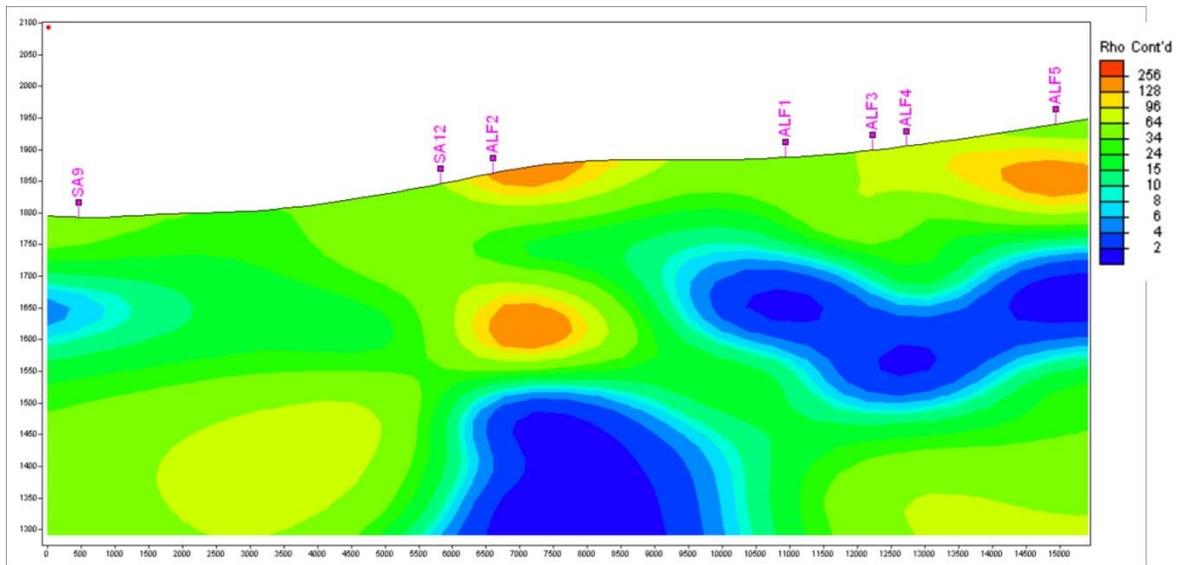


Figura IV.4. Sección Geofísica 1

## Sección geofísica 2

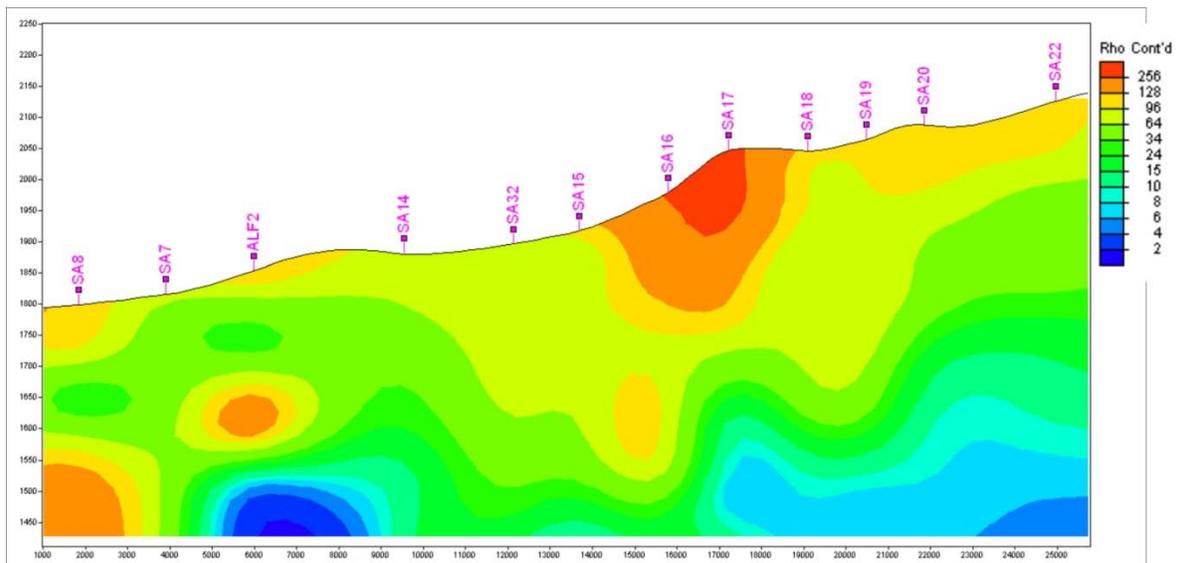


Figura IV.5. Sección Geofísica 2

### Sección geofísica 3

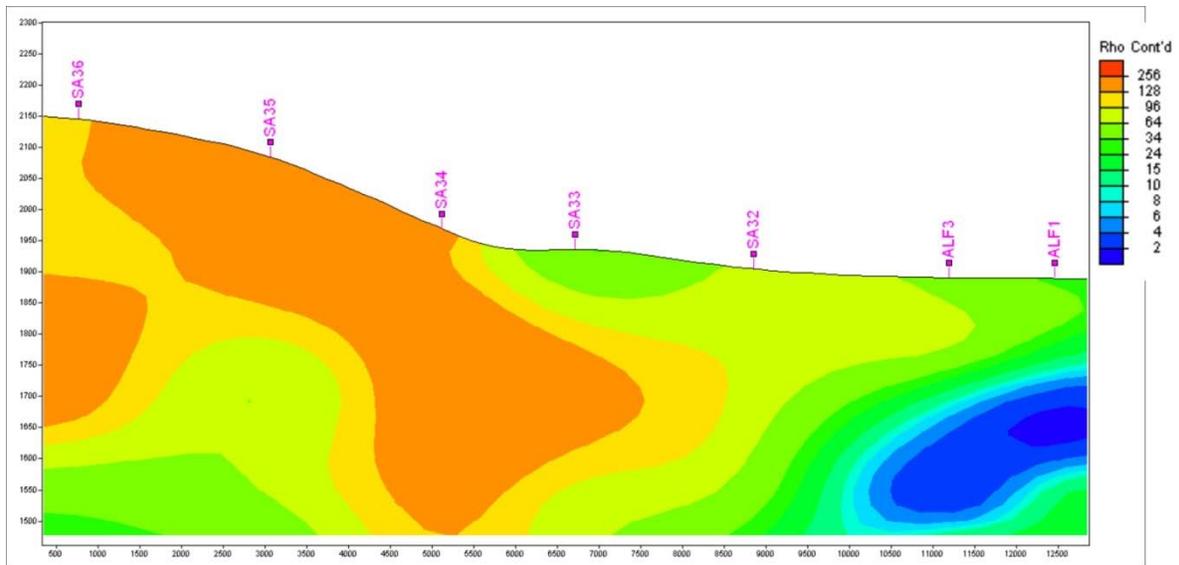


Figura IV.6. Sección Geofísica 3

### Sección geofísica 4

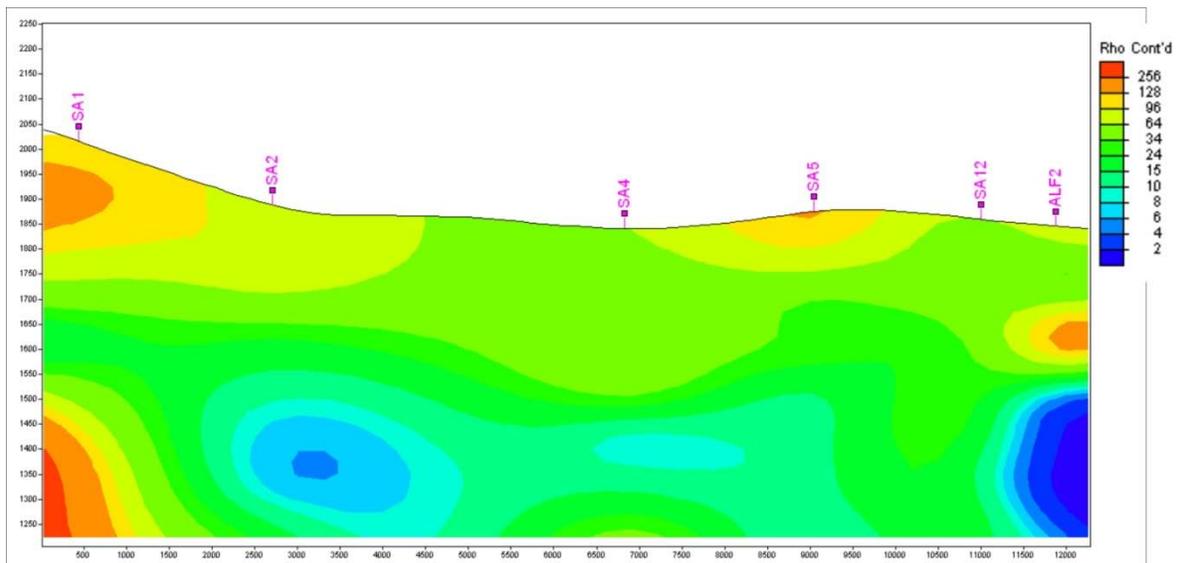


Figura IV.7. Sección Geofísica 4

### **IV.3. HIDROGEOLOGIA**

#### **IV.3.1. Aspectos hidrogeológicos**

Con base en los resultados de la prospección geofísica (tendidos electromagnéticos - TEM) y el modelo hidrogeológico de la región, el subsuelo del área de estudio, forma parte del funcionamiento regional del acuífero Alfajayucan-Chapantongo.

De acuerdo con la integración de los resultados de geofísica y la geología de la zona de estudio, se definieron cuatro unidades hidrogeológicas.

La unidad UH1 está formada por derrames basálticos y andesitas fracturadas. Dicha unidad representa la zona no saturada.

Hidrogeológicamente la unidad UH2 representa un acuífero, de carácter libre y granular, compuesto de Tobas pumíticas, depósitos lacustres y materiales aluviales, con espesores de aproximadamente 85 m en el TEM ALF1 y de 80 m en el ALF4. Se estima que la superficie freática de este acuífero, se localiza entre 95 – 110 m de profundidad.

La unidad UH3, se correlaciona con tobas arenosas e ignimbritas fracturadas del Plioceno. De acuerdo con los valores de resistividad, esta unidad representa el acuífero de mayor potencial en el subsuelo del área y se correlaciona con las unidades geológicas *TplTR-Ig* y *TplTR*, con un espesor de 40 a 200 m, a una profundidad de 85 m para el TEM ALF1 y 150 m para ALF4

La unidad hidrogeológica UH4 está conformada por material arcilloso producto de la alteración hidrotermal de los materiales que conforman a la unidad geológica *TplA-Da-Bva*. Dichos materiales limitan al acuífero lateral y verticalmente como se puede apreciar en el perfil geofísico 1 donde esta unidad se encuentra a una profundidad aproximada de 160 m para el TEM ALF1 y de 240 m para ALF4.

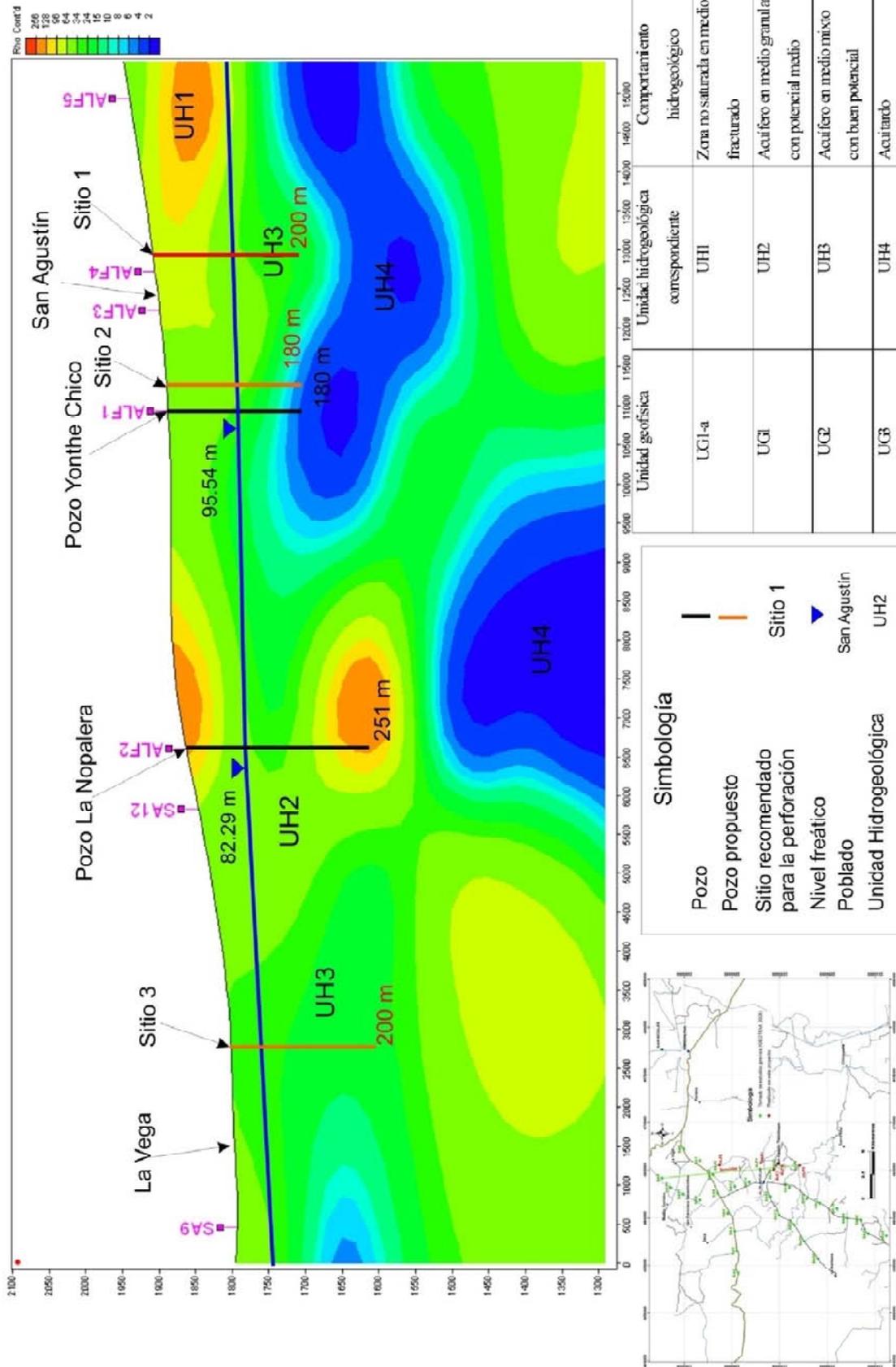


Figura IV.8 Unidades Hidrogeológicas

### IV.3.2. Red de flujo subterráneo

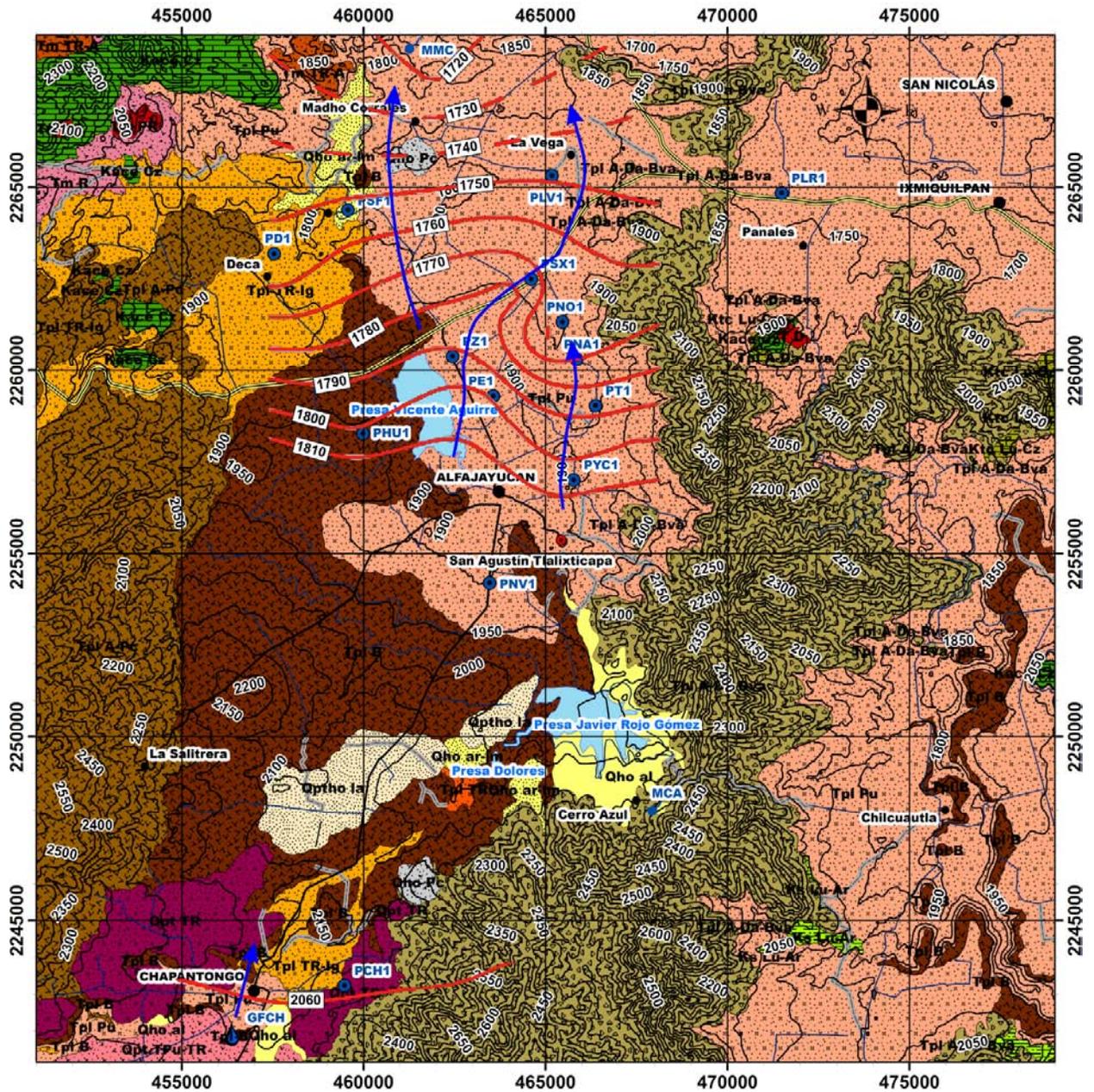


Figura IV.9. Configuración de la elevación del nivel estático y red de flujo subterráneo, Septiembre 2009

### ***IV.3.3. Análisis granulométrico***

A continuación se presentan los resultados de los análisis granulométricos realizados a diferentes muestras de material poco consolidado tomadas en la zona de interés (su ubicación se puede observar en la figura III.10. Puntos de verificación geológica). En el Capítulo II Metodología se describe la manera en que se llevaron a cabo éstos análisis.

En las inmediaciones de San Agustín Tlalixticapa se colectaron las muestras identificadas con las claves SAT2, SAT5 y SAT6, de las cuales se muestra el análisis granulométrico a continuación. Cabe recordar que los porcentajes de los diferentes tamaños de grano en una muestra que se mencionan, corresponden al porcentaje respecto al peso total de la muestra analizada (200 g), como se ha escrito en el Capítulo II Metodología.

#### ***Muestra SAT2***

Clasificada en campo como arena con fragmentos líticos de rocas básicas y ácidas, en donde predomina el tamaño de grano de arenas (93.13%), la presencia de gravas es nula y la fracción fina representa el 6.87% (figura IV.10). Este material corresponde con depósitos aluviales (Qhoal) de poca extensión en el área.



**Figura IV.10. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra SAT2**

El tamaño de arena media es el predominante (32.13%) aunque la arena fina y arena gruesa se encuentran en porcentajes importantes, mientras que las arenas muy gruesas y arenas muy finas existen en poca proporción (menor al 10%). Obsérvese la figura IV.11.

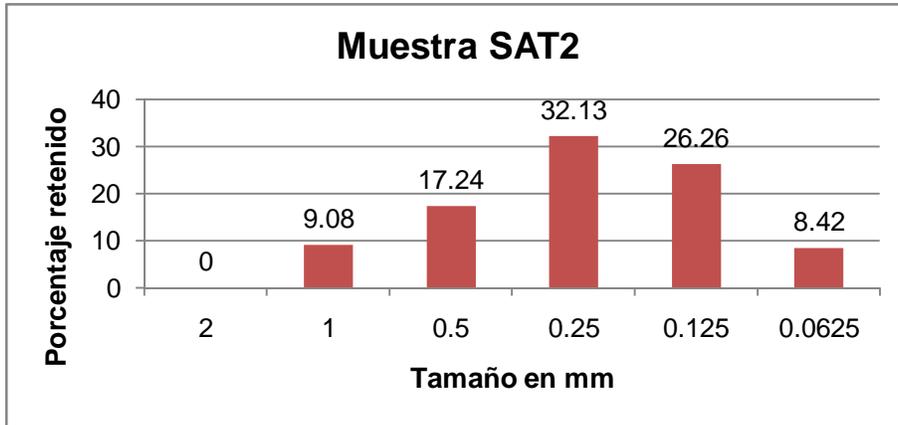


Figura IV.11. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra SAT2

La curva granulométrica (figura IV.12), exhibe buena graduación<sup>1</sup> de la muestra (pobre selección<sup>2</sup>), misma condición mostrada por la figura IV.10, en donde es evidente la existencia en proporciones considerables de tres tamaños de grano. El diámetro  $d_{50}$  corresponde con 0.30 mm.

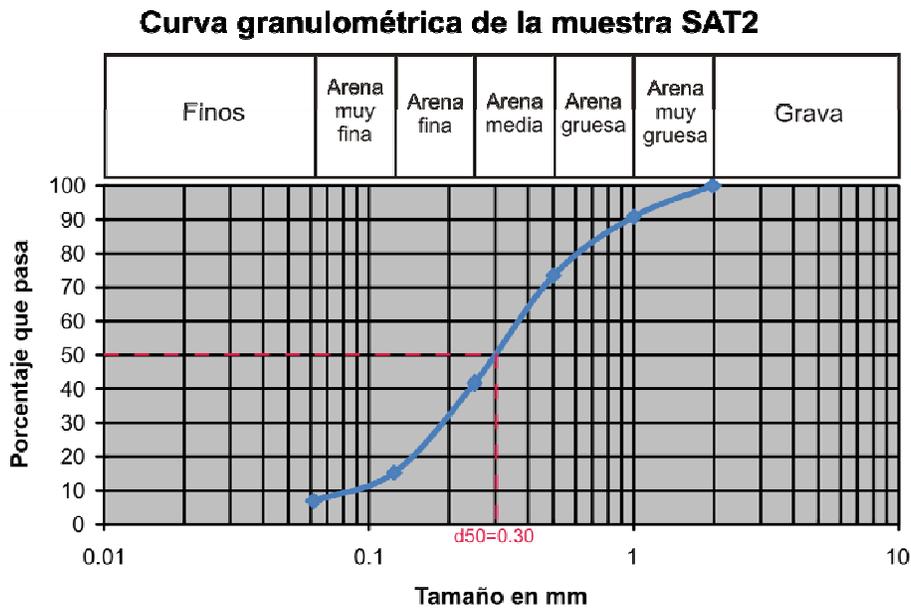


Figura IV.12. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra SAT2

### Muestra SAT5

Esta muestra corresponde con una toba lítica arenosa (pumicita arenosa), en donde las arenas representan el 71.94% de la muestra, la grava no se hace presente y los finos constituyen el 28.06% de la muestra (figura IV.13). Este material conforma la zona no saturada y los primeros metros del acuífero (pumicita TplPu).



Figura IV.13. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra SAT5

La figura IV.14 muestra que la distribución de granos no es muy heterogénea, ya que predominan claramente la arena muy fina (23.96%) y la arena muy gruesa (22.21%), sin embargo existe una leve tendencia hacia los granos finos, evidenciado por el porcentaje de arena fina. La muestra está bien graduada<sup>1</sup>, o bien, pobremente seleccionada<sup>2</sup>.

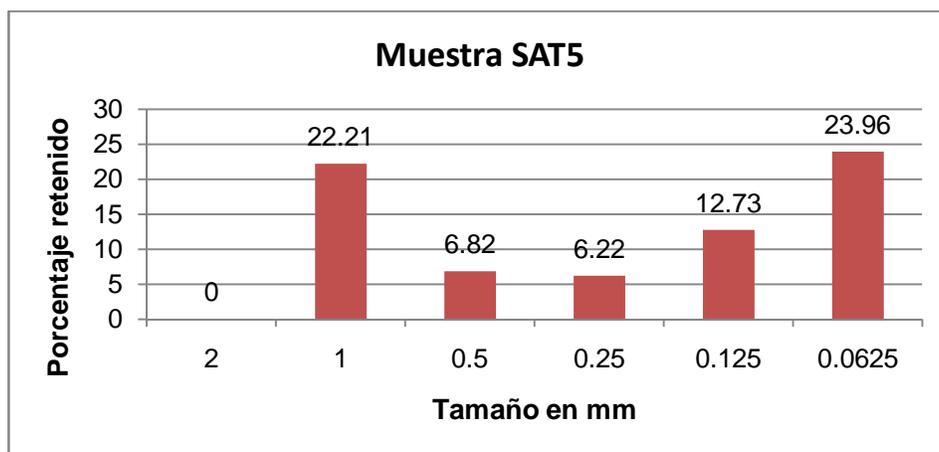
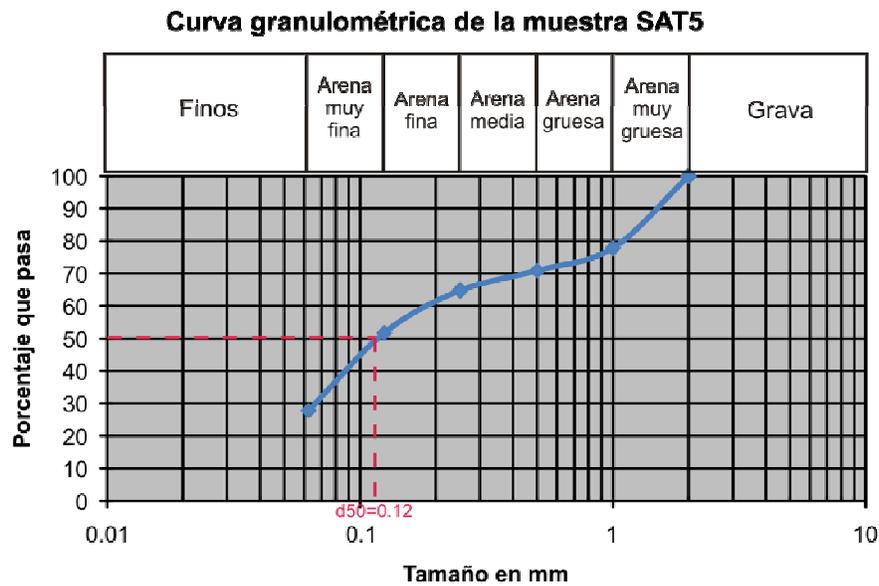


Figura IV.14. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra SAT5

La buena graduación de la muestra es perceptible también en la curva granulométrica (figura IV.15), misma de la que se obtuvo el diámetro  $d_{50} = 0.12$  mm.



**Figura IV.15. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra SAT5**

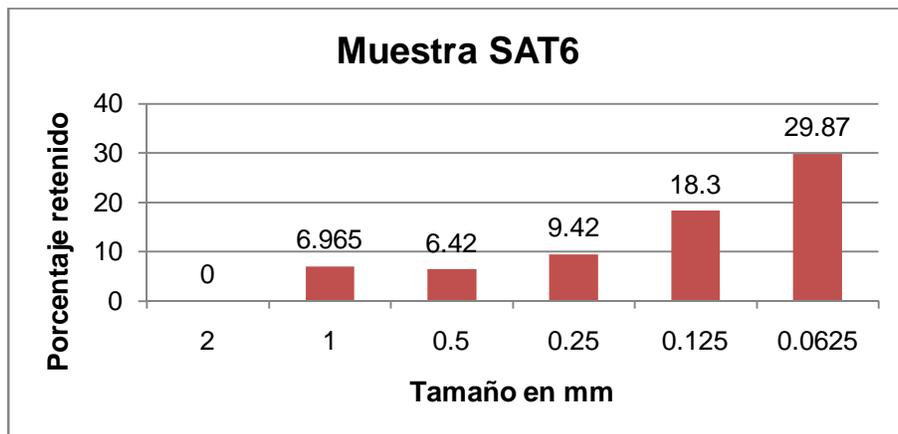
### ***Muestra SAT6***

Se trata de depósitos lacustres (Qhoal) cuya distribución en el área es reducida. Las arenas son las predominantes en la muestra, sin embargo la presencia de material fino es importante, lo que es consistente con los sedimentos depositados en este tipo de ambientes (figura IV.16).



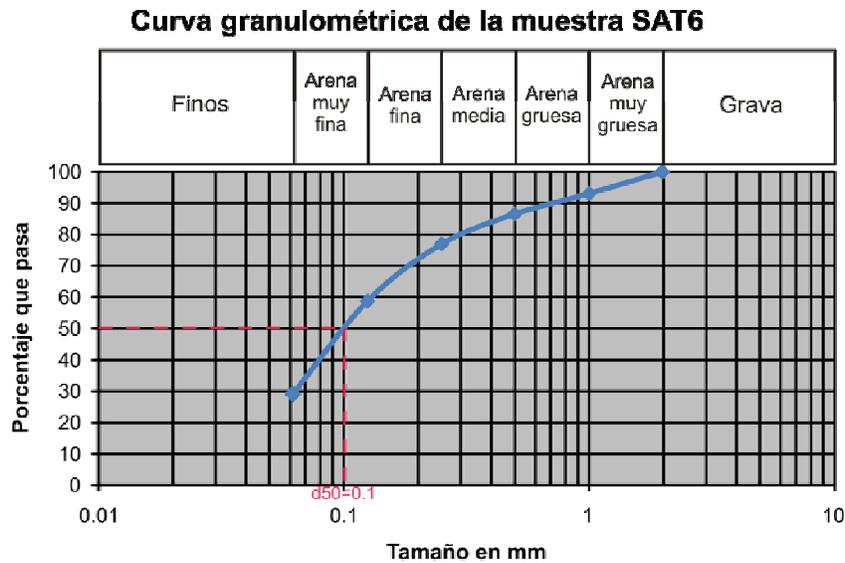
**Figura IV.16. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra SAT6**

Como es posible observar en la figura IV.17, la muestra se clasifica como arena muy fina, ya que esta fracción representa el porcentaje más elevado en la muestra, seguido de la arena fina. Las arenas de tamaño medio y grueso están en poca proporción.



**Figura IV.17. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra SAT6**

La curva granulométrica (figura IV.18) muestra un comportamiento menos heterogéneo en cuanto al tamaño de granos, respecto a las muestras anteriores, sin embargo se considera como material pobremente seleccionado<sup>1</sup>.



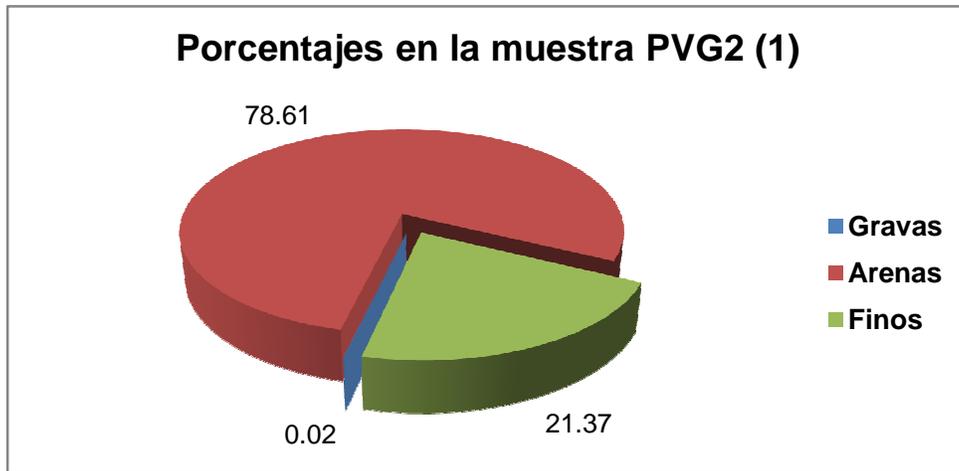
**Figura IV.18. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra SAT6**

En la figura anterior se puede apreciar también la predominancia de los granos finos en la muestra, así como el valor  $d_{50}$ , que es menor al obtenido en las muestras SAT2 y SAT5.

Las muestras con claves PVG2 (1) y PVG2 (2) fueron tomadas aproximadamente a 1700 m al sureste del poblado Panales (figura III.10. Puntos de verificación geológica) En la figura que se cita anteriormente aparece solo la clave PVG2, esto se debe a que los sitios de los que se obtuvieron las muestras distan 20 m aproximadamente. Se decidió tomar dos muestras ya que se observaron algunas diferencias en el tamaño de grano en ambos sitios. La unidad de la que fueron colectadas corresponde con la identificada con la clave TplPu, misma de la que se obtuvo la muestra SAT5.

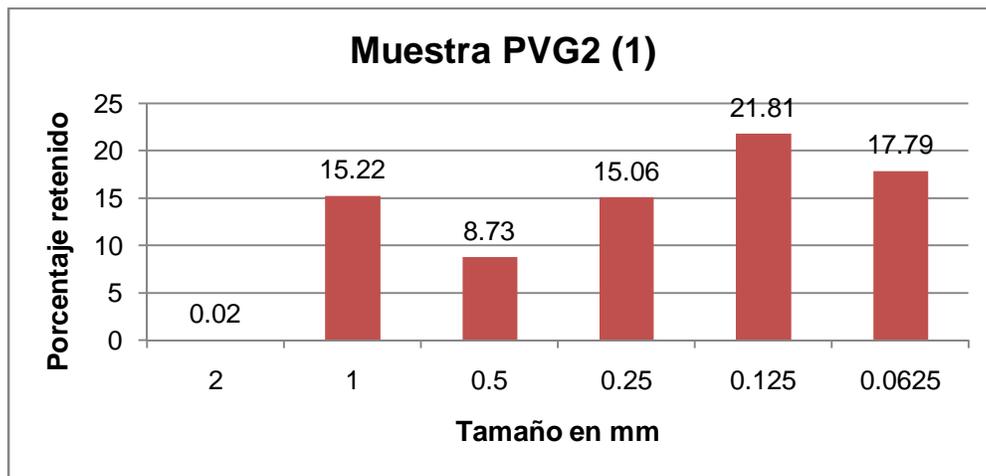
***Muestra PVG2 (1)***

Como se ha mencionado anteriormente corresponde con una pumicita, en la que el tamaño de grano con mayor presencia son las arenas, seguido de material fino y las gravas representan un porcentaje minoritario (figura IV.19).



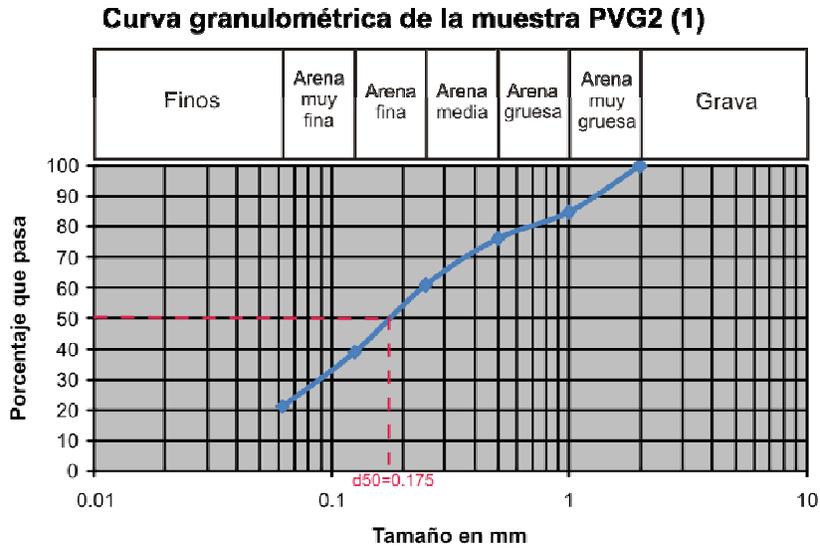
**Figura IV.19.** Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra PVG2 (1).

Dentro de las arenas la que tiene el mayor porcentaje es la arena fina con 21.81%, las arenas muy fina, media y muy gruesa se encuentran en porcentajes similares entre 15% y 18%, como se observa en la figura IV.20.



**Figura IV.20.** Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra PVG2 (1).

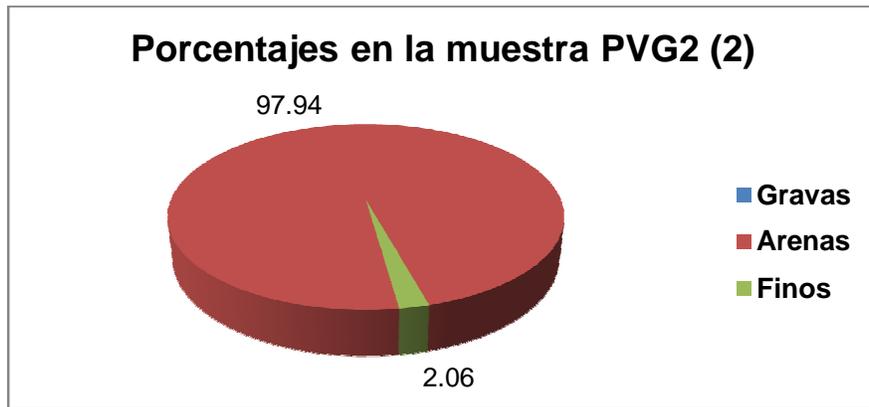
Como es posible observar la heterogeneidad de la muestra es marcada, ya que se tienen porcentajes de arena en diferentes tamaños y material fino con porcentajes que difieren poco. Adicionalmente la curva granulométrica (figura IV.21) evidencia la heterogeneidad ya que su longitud se extiende por diferentes tamaños de grano. En este sentido el material en cuestión está bien graduado<sup>1</sup> o pobremente clasificado<sup>2</sup>. El valor del  $d_{50}$  es de 0.175 mm.



**Figura IV.21. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra PVG2 (1)**

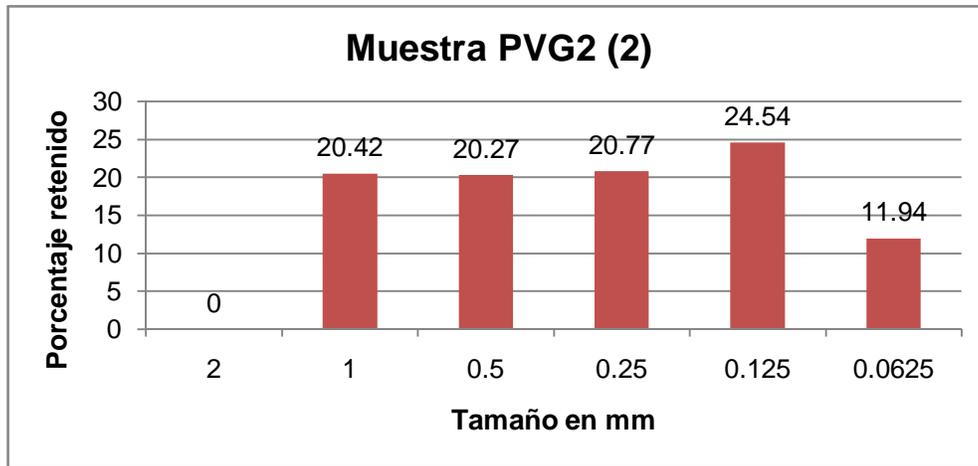
**Muestra PVG2 (2)**

En la muestra de esta pumicita el porcentaje de las arenas es muy elevado (97.94%) y los materiales finos conforman la parte restante de la muestra (figura IV.22).



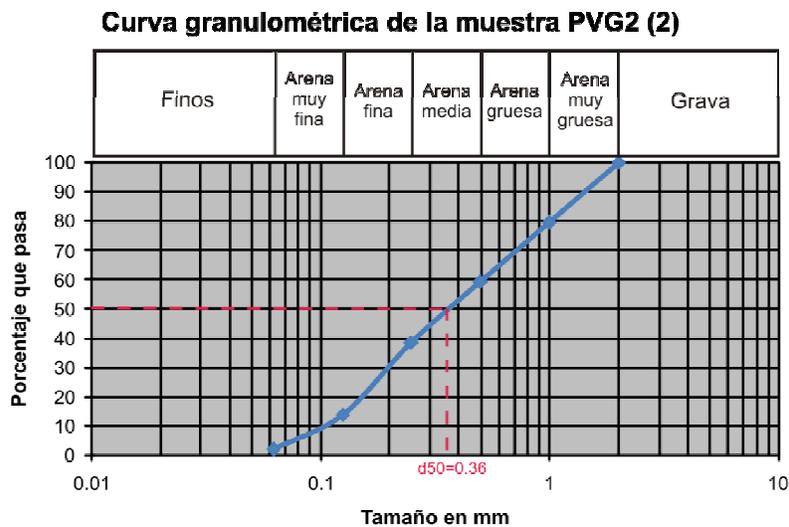
**Figura IV.22. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra PVG2 (2)**

La arena fina es la que se encuentra en mayor proporción con el 24.54%, no obstante los tamaños de arena media, gruesa y muy gruesa son muy similares en cuanto a su porcentaje, como es notorio en la figura IV.23, pues varían entre el 20.20% y 20.80%, que en realidad tampoco conservan gran diferencia en porcentaje con la arena fina.



**Figura IV.23. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra PVG2 (1)**

La figura IV.24 muestra la curva granulométrica obtenida en la que se manifiesta nuevamente el carácter heterogéneo del material analizado, es decir, la muestra está bien graduada<sup>1</sup>, incluso mejor que la muestra PVG2 (1). El diámetro  $d_{50}$  posee un valor de 0.36 mm.



**Figura IV.24. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra PVG2 (2)**

La predominancia en el tamaño de arena fina es consistente en las muestras PVG2 (1) y PVG2 (2) con algunas diferencias en los otros tamaños de arena.

Los resultados de las últimas dos muestras antes expuestas, mantienen ligeras diferencias con los obtenidos para la muestra SAT5 a pesar de corresponder con la misma unidad geológica TplPu, lo que pone de manifiesto el carácter heterogéneo de la misma.

### ***Muestra GSP1***

La muestra identificada con clave GSP1 se colectó aproximadamente 7 km al suroeste de San Agustín (en las cercanías de San Juna El Sabino) y pertenece a la unidad geológica TplTR, (toba riolítica poco consolidada) conocida como toba Donguiñó. Esta unidad geológica también forma parte de la porción inferior del acuífero.

El análisis granulométrico muestra que las arenas predominan en este material (70.975%) y el resto es material de granulometría limosa o arcillosa (finos), obsérvese la figura IV.25).



**Figura IV.25. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra GSP1**

La arena muy fina es la prevaleciente con el 22% del total de la muestra, seguida de la arena fina con 20.95%. Es evidente la tendencia hacia los granos finos en esta toba (obsérvese figura IV.26).

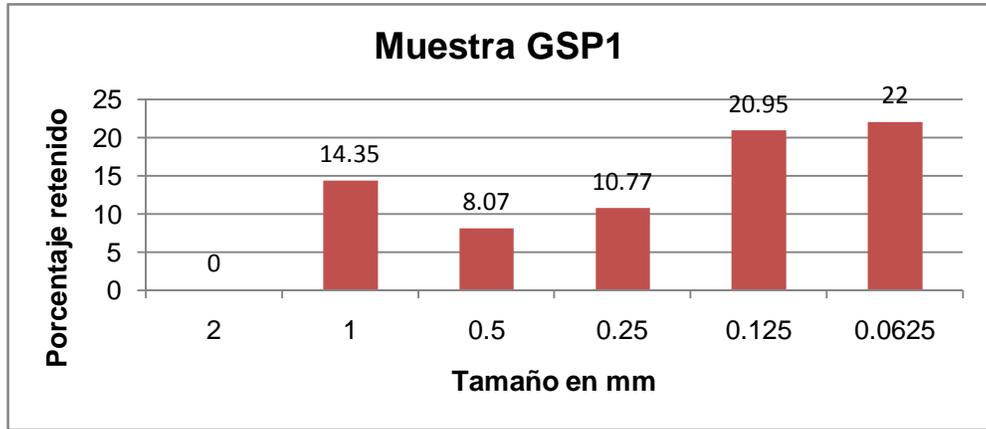


Figura IV.26. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra GSP1

De acuerdo a con la figura anterior y la curva granulométrica (figura IV.27) se puede decir que la muestra es pobremente seleccionada, con tres tamaños de grano sobresaliente y en porcentajes parecidos: arenas finas, muy finas y material fino (limos y arcillas). El tamaño de 0.15 mm corresponde al diámetro  $d_{50}$ .

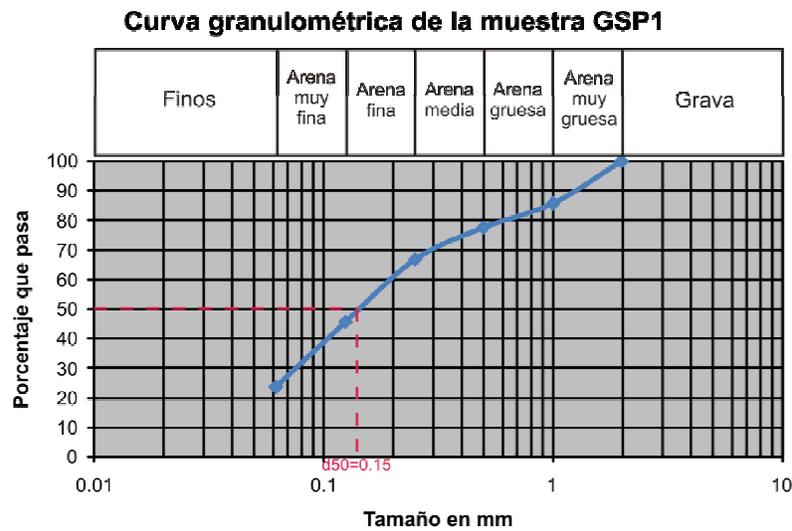


Figura IV.27. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra GSP1

### **Muestra MMC3**

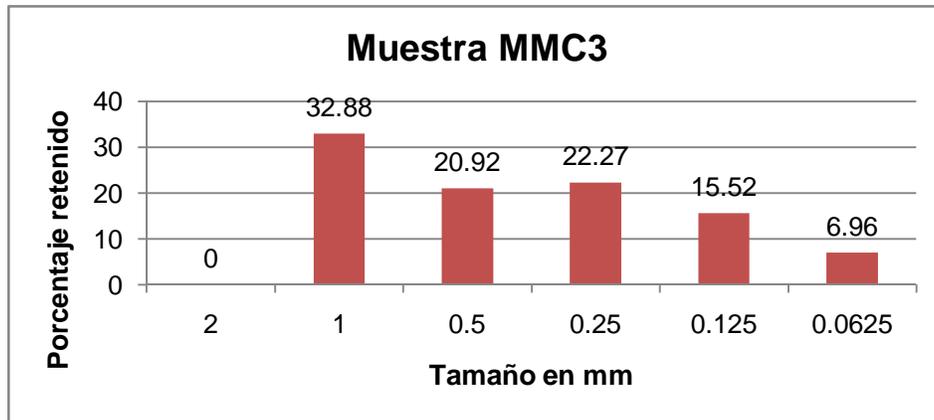
Esta muestra fue colectada en las cercanías del poblado Madhó Corrales, (aproximadamente a 14 km al noroeste de San Agustín), en la zona del manantial homónimo, su localización puede observarse en la Figura III.10. Verificación geológica. Corresponde con una toba lítica de distribución restringida, dentro de la unidad geológica identificada como TplPu. Esta toba muestreada no posee las características generales de la unidad geológica TplPu (pumicita). Debido a su carácter local no fue posible cartografiarla a la escala conveniente para los fines de este trabajo.

De acuerdo con la figura IV.28 obtenida de los análisis granulométricos, esta toba lítica está compuesta prácticamente en su totalidad por arenas y los materiales finos representan solo el 1.35%.



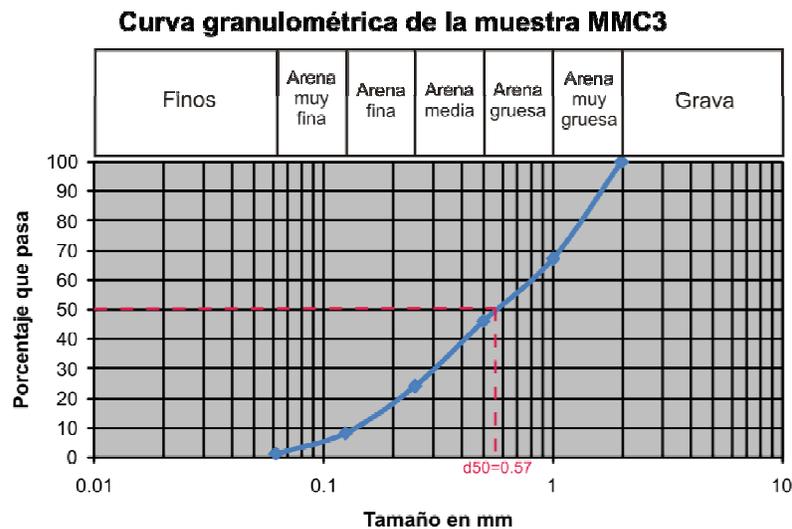
**Figura IV.28. Porcentajes de los tres grupos principales de tamaño de grano en la muestra MMC3**

Las arenas muy gruesas son las predominantes con el 32.88% del total de la muestra, seguidas de arenas gruesas y medias con porcentajes cercanos a 20 (figura IV.29). Las arenas finas, muy finas, los materiales limosos y arcillosos tienen poca proporción respecto al total de la muestra.



**Figura IV.29. Porcentaje retenido por los distintos tamaños de malla en los tamices para la muestra MMC3**

Debido a los distintos tamaños de grano presentes en la muestra ésta se considera como pobremente seleccionada<sup>2</sup> (bien graduada<sup>1</sup>), lo que influye también en el comportamiento de la curva granulométrica obtenida (figura IV.30).



**Figura IV.30. Curva granulométrica y diámetro  $d_{50}$  para la muestra MMC3**

Como resulta evidente, el valor del diámetro  $d_{50}$  para esta muestra es el más alto de todos los obtenidos, lo que es consistente con los tamaños de granos predominantes en esta toba lítica.

<sup>1</sup>El término bien graduado se refiere a la presencia de varios tamaños en una muestra y es común en el lenguaje de mecánica de suelos.

<sup>2</sup>El concepto de pobremente seleccionado es aplicado al material cuyo tamaño de grano es diverso. Se utiliza en el argot sedimentológico y es equivalente al concepto descrito en <sup>1</sup>.

Como se mencionó en el Capítulo II Metodología, con los resultados del análisis granulométrico para cada una de las muestras, se calcularon los valores de conductividad hidráulica (K) a través de la fórmula de Kozeny-Carman que se expresa de la siguiente manera:

$$K = \left[ \frac{\rho g}{\mu} \right] \left[ \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \right] \left[ \frac{d_m^2}{180} \right]$$

Donde

$$K = \text{conductividad hidráulica} \left( \frac{cm}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

$$g = \text{aceleración debida a la gravedad} \left( \frac{cm}{s^2} \right)$$

$$\mu = \text{viscosidad del fluido} \left( \frac{g}{cm \cdot s} \right)$$

$$\varepsilon = \text{porosidad total del medio geológico (adim)}$$

$$d_m = \text{diámetro medio} = d_{50} \text{ (adim)}$$

Además se considera que

$$\frac{\rho g}{\mu} = \frac{1}{1.02 \times 10^{-5}} \left( \frac{1}{cm \cdot s} \right)$$

por lo explicado igualmente en el Capítulo II Metodología.

La presentación del análisis granulométrico de las muestras siguió un orden tal que se agruparon las muestras que correspondían a una misma zona; por ejemplo: las claves SAT2, SAT5 y SAT6 corresponden a muestras que se localizan en San Agustín Tlaxiaticapa y sus alrededores. A continuación se han ordenado y agrupado las muestras de acuerdo a la unidad geológica a la que pertenecen, debido a que tiene implicaciones en cuanto a la unidad hidrogeológica por analizar.

A continuación se muestran los valores de la conductividad hidráulica obtenidos para las muestras y las cifras de porosidad y  $d_{50}$  utilizadas en su cálculo.

- Unidad geológica TplPu (pumicita)

Las porosidades asignadas a las siguientes muestras se tomaron de las reportadas para piroclastos y tobas en la tabla II.1 (Capítulo II Metodología) aun cuando en ella existen valores para pumicitas. Esto se debe a que las porosidades de estas últimas son muy elevadas y no son representativas del medio geológico analizado.

*Muestra PVG2 (1)*

$$d_{50} = 0.175 \text{ mm} = 0.0175 \text{ cm} \quad \varepsilon = 15\% = 0.15$$

$$K = 7.79 \times 10^{-4} \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 0.67 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

*Muestra PVG2 (2)*

$$d_{50} = 0.36 \text{ mm} = 0.036 \text{ cm} \quad \varepsilon = 20\% = 0.20$$

$$K = 8.82 \times 10^{-3} \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 7.62 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

*Muestra SAT5*

$$d_{50} = 0.12 \text{ mm} = 0.012 \text{ cm} \quad \varepsilon = 13.5\% = 0.135$$

$$K = 2.58 \times 10^{-4} \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 0.22 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

*Muestra MMC3*

$$d_{50} = 0.57 \text{ mm} = 0.057 \text{ cm} \quad \varepsilon = 40\% = 0.40$$

$$K = 0.31 \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 271.85 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

- Unidad geológica TplTR (toba riolítica)

*Muestra GSP1*

$$d_{50} = 0.15 \text{ mm} = 0.015 \text{ cm} \quad \varepsilon = 12.5\% = 0.125$$

$$K = 3.13 \times 10^{-4} \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 0.27 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

- Unidad geológica Qhoal (aluvión)

En la asignación de porosidad a esta muestra con base en la tabla II.1 se consideró el valor medio para arenas.

*Muestra SAT2*

$$d_{50} = 0.30 \text{ mm} = 0.030 \text{ cm} \quad \varepsilon = 35\% = 0.35$$

$$K = 0.05 \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 43 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

- Unidad geológica Qpthola (depósitos lacustres)

### Muestra SAT6

$$d_{50} = 0.1 \text{ mm} = 0.01 \text{ cm} \quad \varepsilon = 10\% = 0.10$$

$$K = 6.72 \times 10^{-5} \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) \approx 0.06 \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$$

Las muestras que pertenecen a la unidad geológica TplPu constituyen parte de la zona no saturada y la porción somera del acuífero, a excepción de la identificada con la clave MMC3 que, aunque aparece en esta unidad por la escala de la cartografía, en realidad pertenece a una toba lítica con características muy distintas y con distribución restringida. Por esta razón su valor de conductividad hidráulica es de poca relevancia hidrogeológica para la zona de estudio.

La toba riolítica (muestra GSP1) perteneciente a la unidad TplTR también conforma el acuífero en su sector profundo, de acuerdo al modelo conceptual del mismo, establecido en este documento. Por ello su valor de conductividad hidráulica es importante.

Las muestras extraídas de las unidades Qhoal y Qpthola con claves SAT2 y SAT6 de manera respectiva, estrictamente pertenecen a la zona no saturada más superficial del acuífero. No obstante, su distribución horizontal y vertical es muy reducida por lo que no resultan relevantes en el aspecto hidrogeológico los valores de conductividad hidráulica obtenidos.

En consecuencia se exhiben en la tabla IV.2, los valores de conductividad hidráulica de las muestras con importancia hidrogeológica.

**Tabla IV.2. Valores de conductividad hidráulica de diferentes muestras representativas del acuífero**

Muestra	Unidad geológica	Unidad hidrogeológica	Conductividad hidráulica $K \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$	Conductividad hidráulica $K \left( \frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$
PVG2 (1) (pumicita)	TplPu	Acuífero	$7.79 \times 10^{-4}$	0.67
PVG2 (2) (pumicita)	TplPu	Acuífero	$8.82 \times 10^{-3}$	7.62
SAT5 (pumicita)	TplPu	Acuífero	$2.58 \times 10^{-4}$	0.22
GSP1 (toba riolítica)	TplTR	Acuífero	$3.13 \times 10^{-4}$	0.27

Promedio	$2.54 \times 10^{-3}$	2.19
----------	-----------------------	------

#### IV.4. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA

**Tabla IV.5. Resultados de los análisis químicos del agua**

Parámetro	Pozo	Yonthé Chico	Huapilla	San José Decá	La Nopalera	Zozea	Pueblo Nuevo	NOM 127 (1)
	Clave del pozo	PYC1	PHU1	PD1	PNO1	PZ1	PNV	
	Unidades	*HP-1	*HP-2	*HP-3	*HP-4	*HP-5	*HP-6	
Arsénico	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05
Cloruros	mg/L	99.4	79.5	50	75.9	84.4	94	250
Coliformes fecales	NMP/100 mL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Coliformes totales (NMP)	NMP/100 mL	9	ND	4	ND	ND	ND	2(2)
Conductividad eléctrica	$\mu S/cm$	1231	904	659	941	1096	1199	-
DBO total	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
DQO total	mg/L	24	ND	16	24	24	32	-
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	258	355	204	214	250	341	500
Fierro	mg/L	0.0776	0.265	0.0393	0.033	ND	ND	0.3
Manganeso	mg/L	0.0028	0.0025	0.0026	0.0041	ND	ND	0.15
Mercurio	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001
Nitratos (nitrógeno de)	mg/L	8.3536	6.0689	2.1796	7.3859	4.3905	3.9197	10
Plomo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.025
Potasio	mg/L	14.61	36.21	14.88	10.1	14.92	42.84	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	734	586	467	606	676	688	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Sulfatos	mg/L	62.99	44.77	29.28	59.7	54.26	54.49	400
pH laboratorio	U pH	8.6	8.56	8.27	8.56	8.29	8.38	6.5-8.5
pH en campo	U pH	ND	8.09	7.63	7.84	7.45	7.55	-
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	314	243	205	241	325	382	-
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	314	243	205	241	325	382	-
Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Hidroxilos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-

(1) NOM-127-SSA1-1994

(2) Límite máximo permisible para una muestra simple

\* Clave de la muestra

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### V.1. CORRELACIÓN GEOLÓGICA-GEOFÍSICA

Con objeto de conocer la distribución de las resistividades a lo largo de la zona de estudio se realizaron 4 secciones geoelectricas que permitieron correlacionar la respuesta resistiva con el tipo de roca, para caracterizar el subsuelo de la región.

En la siguiente tabla se muestran los TEM empleados en cada sección y la orientación de cada sección:

**Tabla V.1. TEM que componen cada sección geoelectrica**

Sección	TEM	Orientación
1	ALF1, ALF2, ALF3, ALF4, ALF5, SA-9, SA-12.	18° NW-SE
2	SA-7, SA-8, SA-14, SA-15, SA-16, SA-17, SA-18, SA-19, SA-20, SA-22, ALF2, SA-32.	45° NE-SW
3	SA-32, SA-33, SA-34, SA-35, SA-36, ALF1, ALF3.	60° SW-NE
4	SA-1, SA-2, SA-4, SA-5, SA-12, ALF2	75° SW-NE



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**Tabla V.2 Valores resistivos y correlación litológica de las Unidades Geoeléctricas**

UNIDAD GEOELECTRICA	INTERVALO RESISTIVO [ohm-m]	Correlación	Comportamiento hidrogeológico
UG1	40 a 100	Unidad geoeléctrica de resistividades medias que se puede asociar a la capa de cobertura constituida principalmente por materiales de tobas arenosas y riolíticas, así como depósitos de grava y arena.	Acuífero potencial
UG1-a	100 a 200	Unidad geoeléctrica que presenta resistividades relativamente altas que alcanzan los 200 ohm-m, es posible atribuirla a rocas volcánicas compactas, asociadas también a coladas de lava andesíticas y basálticas.	Zona recarga
UG2	15 a 40	Unidad geoeléctrica de resistividades bajas, la cual puede ser asociada a flujos piroclásticos de la Toba Huichapan con saturación media.	Acuífero potencial
UG3	<8	Unidad geoeléctrica conductora que se puede asociar a material arcilloso proveniente posiblemente de la unidad de brechas, dacitas y derrames basálticos que presentan alteración hidrotermal.	Acuitardo

## V.2. SECCIONES GEOLÉCTRICAS

### Sección geofísica 1

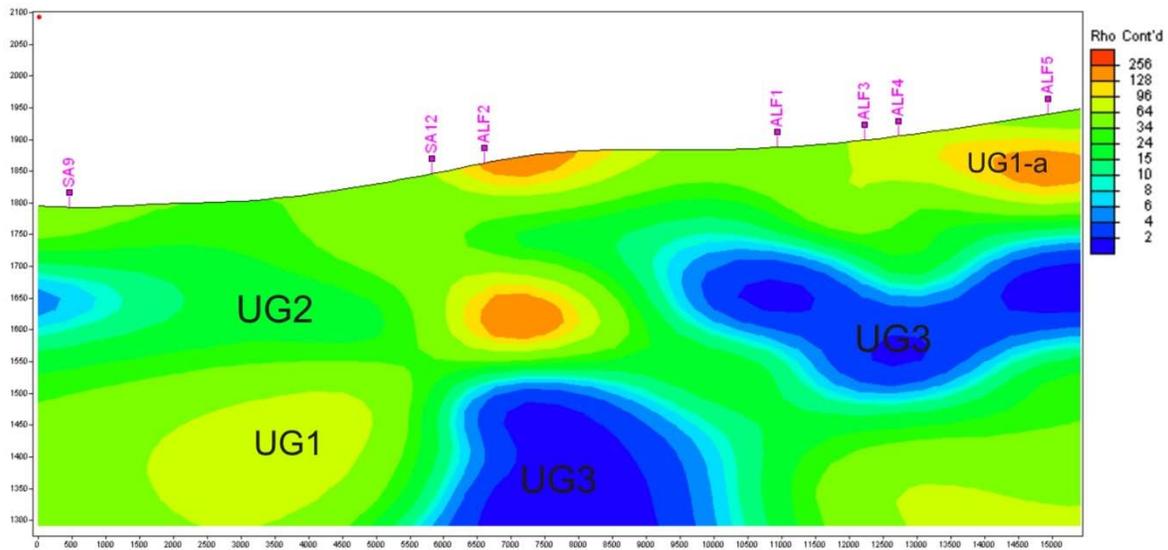
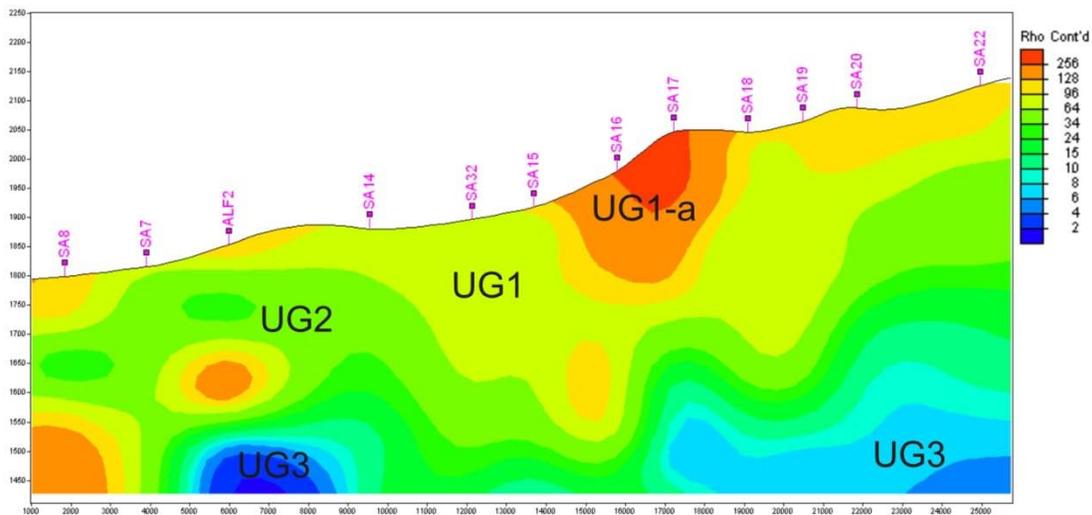


Figura V.1. Unidades Geoeléctricas 1

En la sección se interpretan 4 unidades geoelectricas diferentes; en la parte más superficial, la unidad UG1, presenta un espesor promedio de 100 m hacia el extremo sur de la sección. Hacia el norte se puede apreciar un acunamiento de esta unidad hasta presentar una potencia de alrededor de 50 m debajo del sitio SA9 y se puede correlacionar con las unidades geológicas TplTR-Ig y TplPu, las cuales se comportan como unidades permeables formando parte del acuífero de la región. Embebida en esta unidad se presenta un material más resistivo, de alrededor de 200 ohm-m, el cual podría estar asociado a rocas de tipo volcánico con una compactación mayor; esta unidad geoelectrica ha sido denominada UG1-a y se aprecia debajo del sitio ALF2, en la parte más superficial y a 200 m de profundidad; y debajo del sitio ALF5, en la parte más superficial con un espesor promedio de 100 m, esta unidad geofísica se relaciona con los derrames basálticos de la unidad QptB, la cual no se encuentra saturada, pero debido al fracturamiento que presenta actúa como zona de recarga para el acuífero. La unidad UG2 que subyace a ambos horizontes geoelectricos, tiene espesores variables de 50 a 90 m y se observa principalmente a partir de los 100 m de profundidad. En la parte central de la sección, dicha unidad se ve emplazada por un pequeño horizonte resistivo correspondiente a la unidad UG1-a, así como por unidades

conductoras en las partes norte y sur, a la unidad UG2, se le puede relacionar geológicamente con las unidades TplTR-Ig y TplTR, con base en sus características geoelectricas se interpreta que esta es la zona de mayor interés hidrogeológico. Las unidades conductoras corresponden a la unidad UG3 que presenta resistividades menores a los 8 ohm-m con espesores que alcanzan los 200 m. En la parte sur de la sección se encuentra dicha unidad a una profundidad somera, es decir, a partir de los 200 m de profundidad debajo del sitio ALF5 y con una potencia de 100 m aproximadamente, mientras que en la porción central de la sección, esta unidad conductora UG3 se presenta a partir de los 300 m de profundidad y su espesor queda indeterminado por las características de adquisición, a esta unidad se le relaciona por su geometría con la unidad geológica TplA-Da-Bva y sus bajas resistividades se le atribuye a que esta unidad se encuentra saturada de agua, pero hidrogeológicamente se comporta como acuitardo, es decir que a pesar de almacenar agua, no permite su flujo dentro del subsuelo, por lo que carece de interés para los objetivos de este estudio.

### Sección geofísica 2

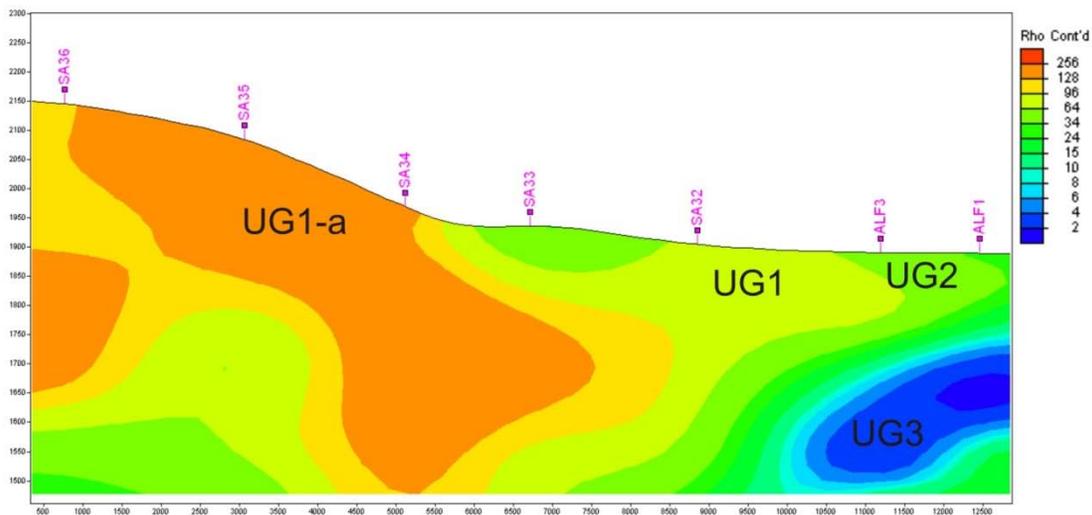


**Figura V.2. Unidades Geoelectricas 2**

En la sección 2 es posible apreciar las mismas unidades geoelectricas descritas en la sección 1. En la zona más superficial se aprecia la unidad UG1-a, prácticamente a lo largo de toda la sección, con excepción de los sitios SA15 y SA32. En el resto presenta una potencia promedio de entre 50 y 100 m, alcanzando su espesor máximo de 200 m debajo de

los sitios SA16 y SA17, claramente esta unidad está relacionada con los derrames basálticos de la unidad QptB, que cubren una gran extensión que se comporta hidrogeológicamente como zona de recarga. Se distingue la unidad UG1 subyaciendo este horizonte resistivo, siguiendo la morfología de la base de la unidad UG1-a, aunque en la parte central de la sección la zona más potente se extiende hacia los sitios SA32, SA15, SA18 y SA19, la unidad UG1 se relaciona con las tobas pumíticas de la unidad TplPu y con las tobas e ignimbritas de la unidad TplTR-Ig, las cuales forman parte del acuífero, pero con menor grado de saturación. En esta sección la unidad UG2 se localiza a mayor profundidad debajo de la unidad UG1, que como se ha mencionado es la zona de mayor interés, ya que esta unidad forma parte del acuífero y presenta mayor saturación de agua que la unidad UG1. Emplazando a la unidad UG2 se encuentra la unidad geoelectrica UG3, de conductividad mayor, debajo del sitio ALF2, a partir de los 350 m de profundidad. Este mismo rasgo conductor se aprecia en la parte sur de la sección, sólo que más extendido, debajo de los sitios SA17, SA18, SA19, SA20 y SA22, esta unidad corresponde a la unidad geológica TplA-Da-Bva que actúa como un límite impermeable para el acuífero de la región.

### **Sección geofísica 3**



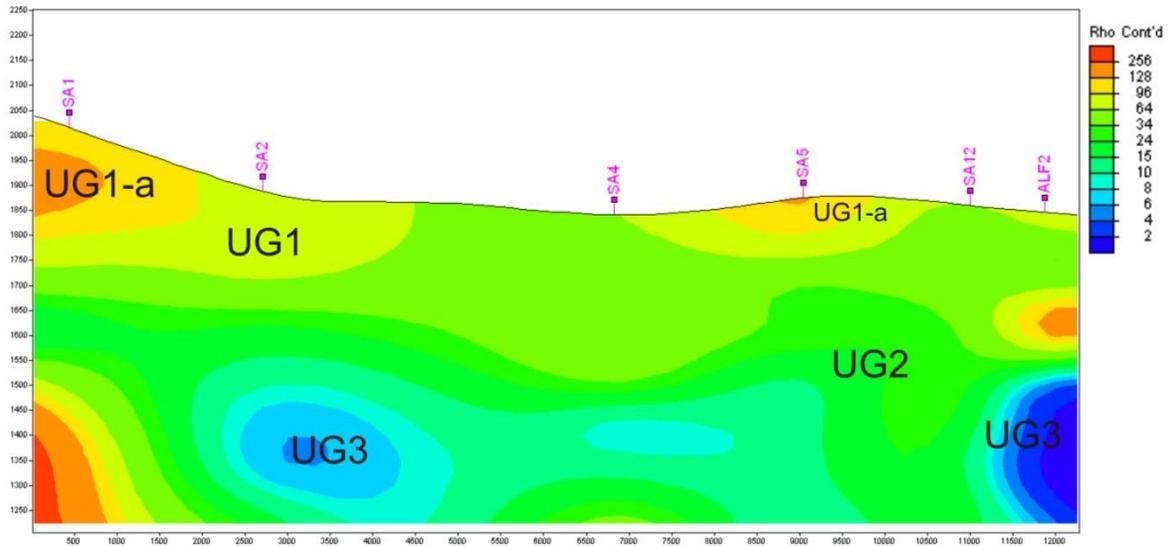
**Figura V.3. Unidades Geoelectricas 3**

En la sección 3 es posible apreciar el predominio de la unidad geoelectrica UG1-a en la parte más oriental de la misma, hasta prácticamente hasta los 500 m de profundidad, lo cual

corresponde en geometría con los derrames de basaltos de la unidad QptB, los cuales actúan como un límite impermeable superior para el acuífero de la región. Debajo de este horizonte resistivo se detecta la presencia de la unidad UG1, ligeramente más conductora que la unidad anterior, cuyo espesor se acuña hasta prácticamente desaparecer debajo del sitio ALF3. La unidad UG1 varía de 50 a 150 m de espesor y corresponde a las unidades geológicas TplPu y TplTR-Ig, las cuales son parte del acuífero de la región.

La unidad UG2 aparece principalmente en la parte occidental de esta sección y se observa un emplazamiento de la unidad conductora UG3, debajo de los sitios ALF3 y ALF1, con un espesor promedio de 100 m a partir de los 150 m de profundidad; es por la presencia de este horizonte que se da el acuñaamiento de las unidades UG1 y UG2 en dicha zona, UG2 es la zona más saturada del acuífero y se puede encontrar dentro de las unidades geológicas TplPu, TplTR-Ig y TplTR pero se puede apreciar cómo el acuífero se encuentra limitado superiormente por UG1-a y lateralmente por la unidad UG3.

#### ***Sección geofísica 4***

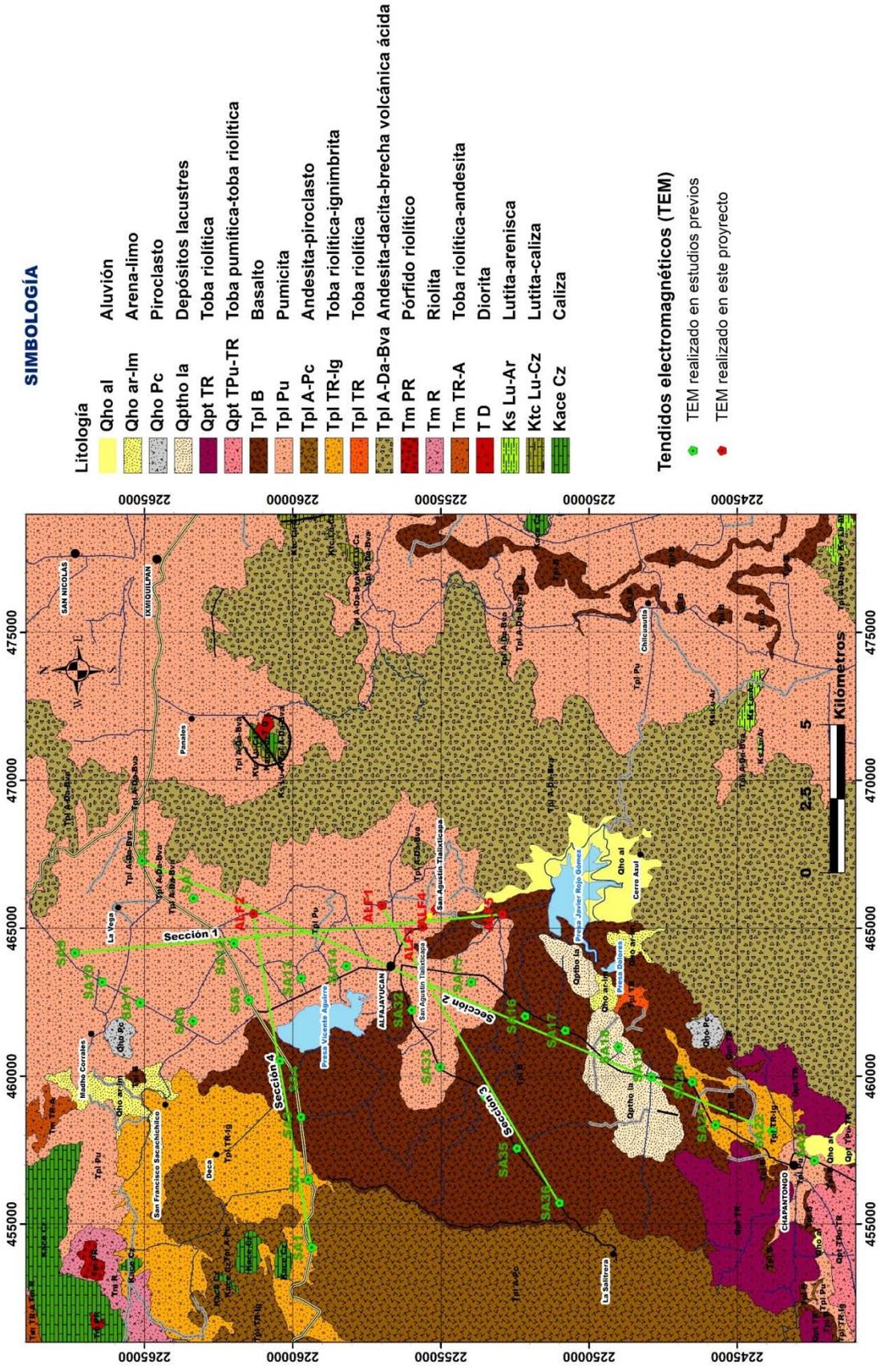


**Figura V.4. Unidades Geoeléctricas 4**

En la zona oriental de la sección, debajo del sitio SA1, se distinguen resistividades altas asociadas a la unidad geoeléctrica UG1-a, con un espesor máximo de 200 m, en la parte superficial, y se halla el mismo horizonte a una profundidad de 550 m con un espesor

indeterminado por las condiciones de adquisición, dicha unidad se relaciona con los basaltos de la unidad QptB que se distribuye en la parte central de esta sección, es posible que por sus características litológicas y sus espesores, esta unidad no permita el almacenamiento del agua, solamente su circulación, por lo cual actúa como zona de recarga para el acuífero de la región, ya que en algunas porciones esta unidad se encuentra de menor espesor y con fracturamiento, lo cual permite la infiltración del agua de lluvia hacia el acuífero. Esta unidad también aparece en la parte oeste de esta sección, aunque con un espesor menor restringida a la zona más superficial de los sitios SA5 y ALF2, aunque en éste último se aprecia nuevamente a una profundidad de 150 m y con un espesor de aproximadamente 100 m. La unidad UG1 presenta una continuidad lateral a lo largo de toda la sección con un espesor variable entre los 50 m, debajo del sitio SA1, y los 300 m, debajo del sitio SA4, se relaciona con las unidades geológicas de las tobas pumíticas TplPu y las ignimbritas TplTR-Ig, las cuales se encuentran formando parte del acuífero, pero no es la unidad de mayor saturación. La unidad UG2 se aprecia a partir de los 250 m de profundidad subyaciendo a la unidad UG1, de forma bastante irregular aunque continua, formando la parte más saturada del acuífero siendo la unidad de mayor importancia. Emplazando a esta unidad se encuentra nuevamente la unidad UG3, de mayor conductividad, debajo del sitio ALF2, a partir de los 300 m de profundidad, y debajo de los sitios SA2, SA4 y SA5 presentando mayor continuidad lateral de este rasgo conductor asociado a las brechas, dacitas y andesitas de la unidad TplA-Da-Bva, que como ya se ha mencionado actúan como acuitardo limitando al acuífero de la región.

Como se ha observado en las secciones descritas, las unidades que presentan un mayor potencial de saturación, por los valores de resistividad eléctrica detectados, son las unidades UG2 y UG3, aunque por pozos ubicados en la zona se sabe de antemano que actualmente la unidad explotada es la correspondiente a la unidad UG2. En este sentido, se puede deducir que la unidad con mayor probabilidad de explotación del recurso es la unidad UG2, la cual corresponde con los materiales litológicos de la toba pumítica TplPu, toba Huichapan TplTR-Ig y toba Donguiño TplTR, siendo el blanco principal de este estudio para la explotación de agua subterránea.



**SIMBOLOGÍA**

Litología	Aluvi3n
Qho al	Arena-limo
Qho ar-lm	Piroclasto
Qho Pc	Dep3sitos lacustres
Qptho la	Toba riol3tica
Qpt TR	Toba pumf3tica-toba riol3tica
Qpt TPu-TR	Basalto
Tpl B	Pumicita
Tpl Pu	Andesita-piroclasto
Tpl A-Pc	Toba riol3tica-ignimbrita
Tpl TR-Ig	Toba riol3tica
Tpl TR	Andesita-dacita-brecha volc3nica 3cida
Tpl A-Da-Bva	P3rfido riol3tico
Tm PR	Riolita
Tm R	Toba riol3tica-andesita
Tm TR-A	Diorita
T D	Lutita-arenisca
Ks Lu-Ar	Lutita-caliza
Ktc Lu-Cz	Caliza
Kace Cz	

**Tendidos electromagn3ticos (TEM)**

- TEM realizado en estudios previos
- TEM realizado en este proyecto

Figura V.5 Ubicaci3n de las secciones geof3sicas y geol3gica

### V.3. HIDROGEOLOGÍA

La zona de interés pertenece al acuífero Chapantongo-Alfajayucan, (región hidrológico-administrativa XIII *Agua del Valle de México*, región hidrológica 26 *Cuenca Alta del Río Pánuco*, subcuenca del *Río Tula*; CONAGUA). El acuífero en cuestión limita con los siguientes acuíferos:

Al noreste acuífero de Ixmiquilpan

Al Oeste acuífero de Huichapan-Tecoautla y acuífero El Astillero

Al Sureste acuífero del Valle del Mezquital.

El acuífero Chapantongo-Alfajayucan ha sido poco estudiado en comparación con algunos de los que le rodean. Aún no se ha publicado su documento de disponibilidad por la CONAGUA.



**Figura V.6. Límites del acuífero Alfajayucan-Chapantongo**

Con el propósito de determinar las condiciones hidrogeológicas prevalcientes en la zona de interés, se realizó el análisis y correlación de los datos geológicos, geofísicos y de niveles estáticos de los pozos, con ello, se establecieron las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en el subsuelo que se describen a continuación.

### ***V.3.1. Unidades hidrogeológicas***

De acuerdo a la información geológica del área de estudio y la información obtenida del subsuelo mediante la geofísica, es posible definir cuatro unidades hidrogeológicas.

A continuación se describen:

- Unidad Hidrogeológica 1 (UH1)

Esta unidad está formada por basaltos de la unidad geológica (TpIB) con claras evidencias de fracturamiento, se comportan como la zona no saturada, ya que permiten la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores ayudando a la recarga del acuífero. La unidad UH1 se relaciona con la unidad geofísica UG1-a con resistividades entre 100-200 [ohm-m].

- Unidad Hidrogeológica 2 (UH2)

Esta unidad está constituida por suelo, depósitos aluviales y sedimentos lacustres de poco espesor, así como por depósitos piroclásticos pumíticos con granulometría de arenas. De acuerdo a sus características geológicas se comporta como un acuífero libre en un medio granular, y se relaciona con la unidad geofísica UG1 que presenta un intervalo de resistividades de 40 a 100 [ohm-m].

- Unidad Hidrogeológica 3 (UH3)

Esta unidad está formada por depósitos piroclásticos de la toba Huichapan y de la toba Donguiño, que aunque tienen características petrológicas distintas, tienen un comportamiento similar en su respuesta resistiva. La unidad UH3 se correlaciona con la unidad geofísica UG2 con resistividades entre 15 – 40 [ohm-m]. Esta unidad es la que representa mayor potencial para la extracción de agua subterránea y se comporta hidrogeológicamente como un acuífero en un medio fracturado, como parte de la unidad geológica (TpITR-Ig), y dentro de un medio granular en la unidad geológica (TpITR).

- Unidad Hidrogeológica 4 (UH4)

Está formada por material arcilloso proveniente de rocas basálticas y andesíticas que presentan alteración hidrotermal. La unidad se correlaciona con la unidad geofísica UG3 que presenta bajas resistividades (menores a 8 [ohm-m]). Hidrogeológicamente esta unidad representa un acuitardo con materiales de muy baja permeabilidad.

**Tabla V.3. Correlación entre unidades geofísicas e hidroestratigráficas, y su comportamiento hidrogeológico en el subsuelo**

Unidad geofísica	Unidad hidrogeológica correspondiente	Comportamiento hidrogeológico
UG1-a	UH1	Zona no saturada
UG1	UH2	Acuífero en medio granular con potencial medio
UG2	UH3	Acuífero mixto con buen potencial
UG3	UH4	Acuitardo

A continuación se muestran las secciones geoelectricas con las unidades hidrogeológicas, pozos (línea de color negro) con profundidad total de perforación, nivel estático medido en campo (triangulo azul) y ubicación de poblados.

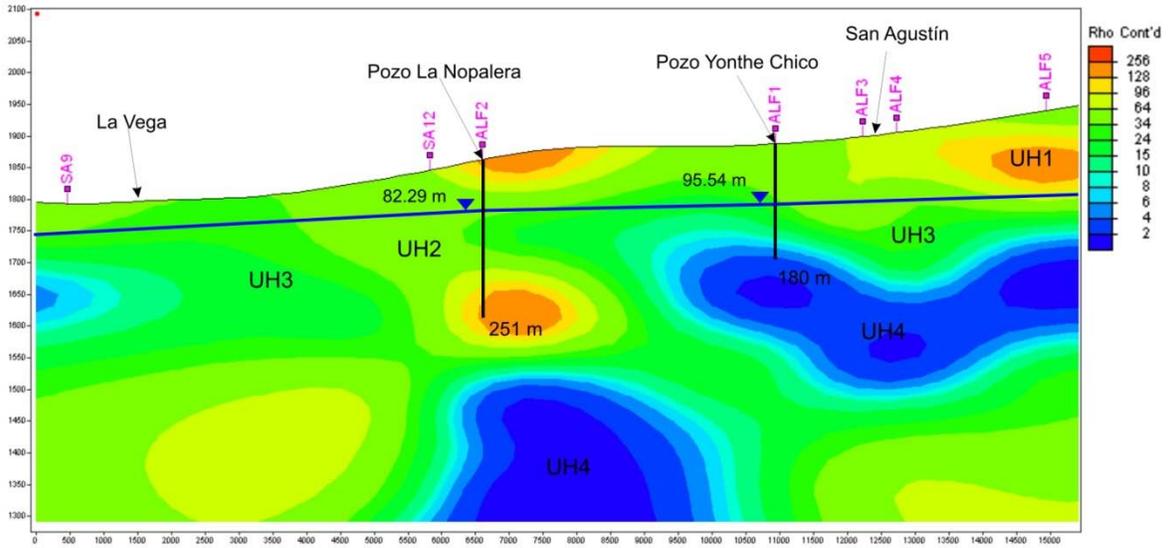


Figura V.7. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 1

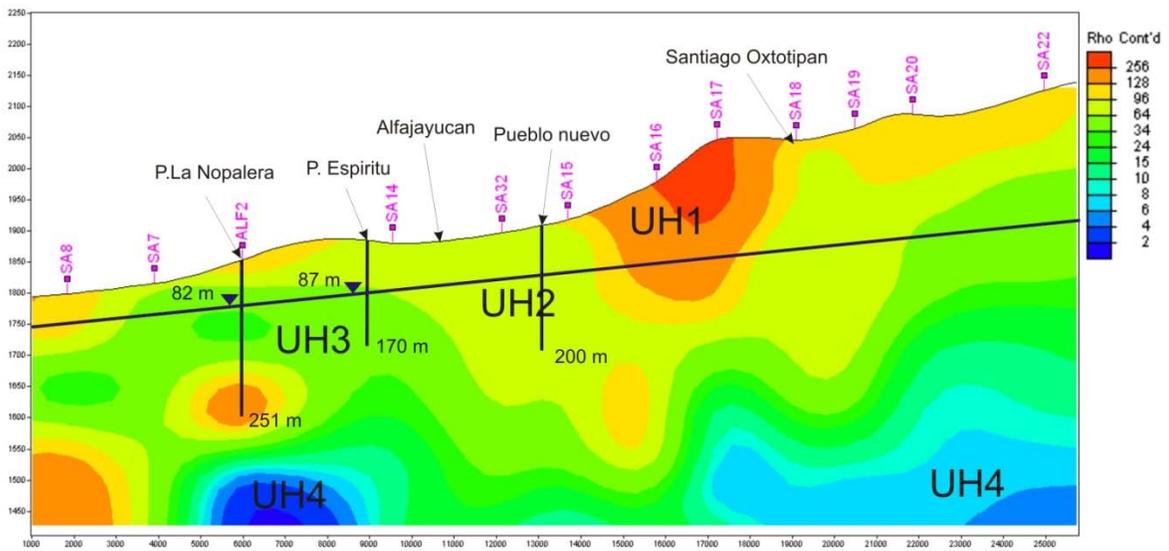
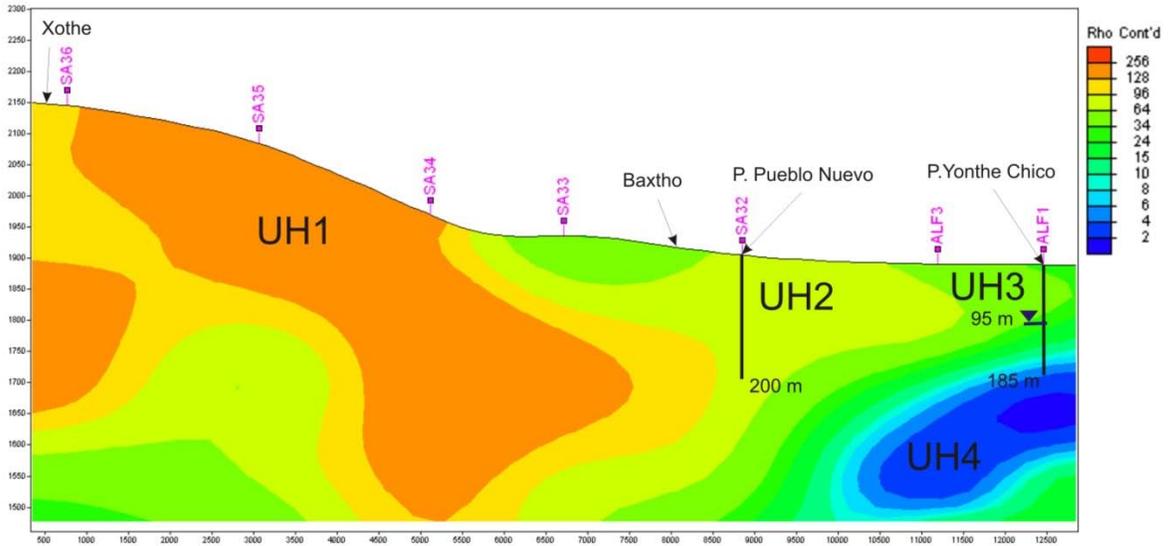
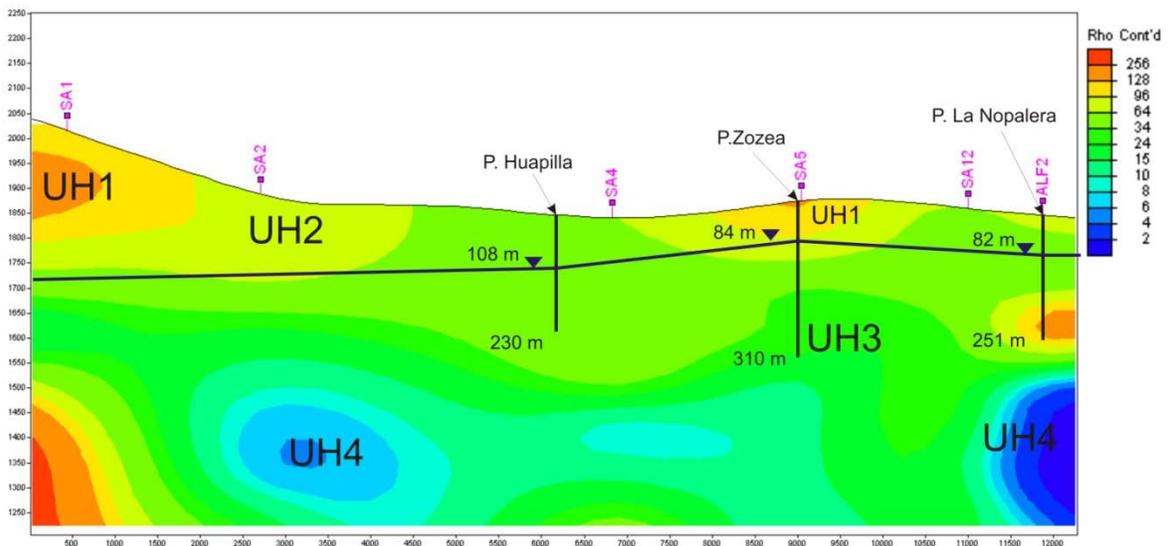


Figura V.8. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 2



**Figura V.9. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 3**



**Figura V.10. Unidades Hidrogeológicas Sección Geofísica 4**

### ***V.3.2. Modelo conceptual hidrogeológico del área de estudio***

Localmente las unidades acuíferas corresponden con los materiales de las unidades hidrogeológicas UH2 y UH3, permitiendo la circulación y almacenamiento de agua subterránea, remarcando que la unidad con mayor potencial hidrogeológico es la unidad marcada como UH3, ya que los materiales correspondientes a la unidad UH2 reflejan menor saturación de agua. La unidad UH1 corresponde a la zona no saturada, por lo que

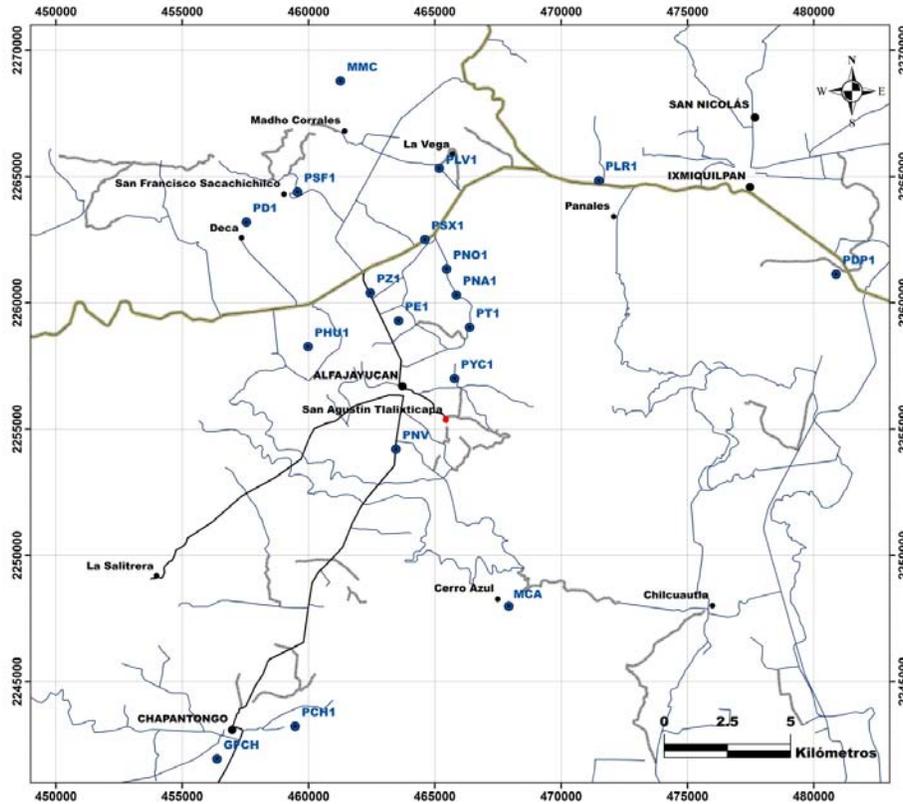
elimina de la posibilidad de ser útil para la extracción de agua subterránea, pero contribuye con la recarga del acuífero. Por último la unidad UH4 corresponde con un acuitardo que es material que a pesar de encontrarse saturado tiene baja conductividad hidráulica que dificulta el movimiento del agua subterránea en el subsuelo, por lo que se descarta para ser sometida a bombeo.

Con base en las secciones geofísicas y su integración con la información geológica e hidrogeológica, se puede observar que el acuífero se encuentra limitado lateralmente hacia la parte oriental del área de estudio así como a profundidad, por la unidad descrita como UH4 que corresponde a un acuitardo.

De lo anterior se deduce que las principales unidades acuíferas en el área de estudio son aquellas que corresponden con las unidades UH2 y UH3. La UH2 está representada por material granular con un potencial medio para la explotación de agua subterránea, mientras que la unidad UH3 que puede tener un comportamiento mixto (medio granular y fracturado), es la mejor opción para ser sometida a bombeo con caudales apreciables. Para mostrar con mayor claridad la geometría y distribución de las unidades descritas anteriormente se puede observar la Figura IV.3 (Capítulo IV Resultados).

### ***V.3.3. Profundidad del nivel del agua y características de los aprovechamientos de la zona***

Durante el trabajo de campo se localizaron y visitaron 13 pozos de abastecimiento de agua potable en diferentes poblados, de los cuales 12 pertenecen a Alfajayucan y uno a Chapantongo. Solamente en 11 pozos fue posible medir el nivel estático del agua debido a la pérdida de la sonda en uno de los aprovechamientos, mientras que en otro fue imposible localizar el nivel estático debido a sus características constructivas. La ubicación de los pozos censados se muestra en la figura V.7.



**Figura V.11. Ubicación de pozos censados**



**Fotografía V.1 Pozo Zozea, cuyo nivel estático se encuentra a 86.4 m de profundidad**

A partir de los datos obtenidos durante los trabajos de campo se generó la Tabla 5.2, que muestra la localización, profundidad del nivel estático, profundidad total y caudal de extracción aproximado, de los pozos visitados.

**Tabla V.4. Características de los pozos visitados en campo**

Clave	*Ubicación UTM zona 14N		PNE (m)	PT (m)	Caudal (L/s)	Distancia aproximada al poblado en línea recta [m]
	X (m)	Y (m)				
PCH1	459,470	2,243,235	105.9	200	NM	13 580
PD1	457,536	2,263,196	84.83	194	<sup>1</sup> 6	11 147
PE1	463,562	2,259,292	87.55	170	<sup>1</sup> 6	4 360
PHU1	459,981	2,258,268	108.29	230	<sup>3</sup> 9	6 145
PLV1	465,173	2,265,326	66.36	140	<sup>2</sup> 6	9 970
PNA1	465,852	2,260,310	NM	201	NM	4 968
PNO1	465,463	2,261,335	82.29	251	<sup>1</sup> 2	5 964
PNV1	463,460	2,254,207	NM	200	<sup>1</sup> 22	2 290
PT1	466,374	2,259,029	102.12	150	<sup>3</sup> 12	3 772
PSF1	459,565	2,264,391	0.96	130	<sup>3</sup> 12	10 758
PSX1	464,606	2,262,503	57.06	310	NM	7 180
PYC1	465,775	2,257,007	95.54	180	NM	1 676
PZ1	462,443	2,260,394	84.6	310	<sup>1</sup> 24	5 842

\*La ubicación corresponde al DATUM WGS84 <sup>1</sup>Estimado a partir del diámetro de la tubería de descarga,

<sup>2</sup>a partir de la lectura de los medidores o <sup>3</sup>tomado de datos proporcionados por el comité del agua del poblado

PNE = Profundidad del Nivel Estático

PT = Profundidad Total

NM = No Medido

Como es posible observar, los niveles estáticos en la zona varían de 57 m a 108 m de profundidad, sin embargo en los pozos más cercanos a San Agustín Tlalixticapa se registran los niveles estáticos entre 82 m y 102 m de profundidad, aproximadamente.

Los caudales de extracción son menores a 15 [L/s] excepto en los pozos Zozea (PZ1) y Pueblo Nuevo (PNV1) que sobrepasan los 20 [L/s]. El agua del 85 % de los pozos se destina para consumo humano, a excepción de los pozos Yonthé Chico (PYCH1) y Pueblo Nuevo, cuyo recurso es destinado al uso doméstico y agrícola-doméstico, respectivamente.

Además de los pozos antes mencionados, se visitaron una galería filtrante y dos zonas de manantiales, cuya localización se muestra en la tabla V.2 De la galería filtrante solo se tiene su ubicación, fotografías y descripción de las rocas que esta atraviesa, ya que es un lugar totalmente cercado y no se localizó a persona alguna que nos pudiese brindar información o permitir el acceso al sitio (fotografía V.2). Sin embargo es relevante el hecho de que esta

galería filtrante abastece de agua potable a distintos poblados en la actualidad, principalmente a Chapantongo, pero su distribución es cada vez más restringida debido al incremento en la población de la zona.



**Fotografía V.2. Galería filtrante “El túnel”**

Por otro lado, los manantiales se ubican a 15 km al noroeste de San Agustín, en las inmediaciones del poblado Madhó Corrales (MMC) y 8 km al sureste de la zona de interés, cerca del sitio conocido como Cerro Azul (MCA), (figura 5.9).

El primero corresponde a una zona de descarga constituida por brechas volcánicas, conglomerados polimícticos y tobas líticas, (figura III.2). El agua de este manantial es destinada a la población Madhó Corrales y aprovechada para la cría de carpas en esta zona.



**Fotografía V.3. Manantial Madhó Corrales**



**Fotografía V.4. Manantial Cerro Azul**

La segunda zona de manantiales es producto del escurrimiento del agua de lluvia a través de las fracturas de la unidad TsDa-Bva constituida por brechas volcánicas ácidas, dacitas, riodacitas y andesitas (figura III.2). Su existencia se restringe naturalmente a la época de lluvias su caudal es muy bajo para el volumen requerido por el poblado.

#### ***V.3.4. Elevación del nivel estático (2009) y red de flujo subterráneo***

Con los datos obtenidos del censo de pozos (septiembre 2009), se elaboró una configuración de la elevación del nivel estático, para poder definir la dirección preferencial del flujo del agua subterránea y con el objeto de tener un mayor entendimiento hidrogeológico de la zona de estudio.

En la configuración elaborada, se determinaron líneas equipotenciales con una orientación general E-W con cargas hidráulicas de 2060 msnm a 1720 msnm, que ocasionan una dirección general de flujo de S a N, aunque entre las curvas 1820 msnm y 1760 msnm se puede observar una componente secundaria con dirección SW-NE, esta perturbación en las líneas de flujo podría deberse a la influencia de la presa Vicente Aguirre o por el bombeo generado en Ixmiquilpan, pero dichas hipótesis quedan por resolverse ya que no son el objetivo de este estudio. El gradiente hidráulico promedio es de 0.013 ( $h_1 = 2060$  msnm,  $h_2 = 1720$ ,  $L = 25,616$  m) con dirección Norte.

De la red de flujo elaborada se puede observar que la región sur del área de estudio representa la zona de recarga permitiendo la infiltración del agua de lluvia hacia la parte central del acuífero, así mismo se aprecia que la sierra ubicada al oriente actúa como límite lateral del acuífero debido a que está constituida por rocas con alteración a materiales arcillosos, al occidente el acuífero se encuentra limitado por una falla normal que disloca las unidades permeables.

En el punto marcado como MMC (Manantial Madho Corrales) con cota 1719 msnm es posible apreciar que las líneas equipotenciales de la red de flujo se intersecan con las curvas de nivel topográfico en valores iguales de elevación dando origen a una descarga natural de agua subterránea en este sitio.

La red de flujo puede apreciarse en la figura IV.4 con líneas rojas continuas que representan curvas con igual carga hidráulica calculadas con los datos de campo y líneas rojas discontinuas que simbolizan datos inferidos. Para mayor detalle consultar el plano anexo red de flujo subterráneo.

#### ***V.4 UBICACIÓN DE PERFORACIONES EXPLORATORIAS***

Una vez establecidas las principales características hidrogeológicas de la zona de estudio, es posible determinar los sitios donde se presentan las mejores condiciones para ubicar las perforaciones exploratorias.

Considerando las condiciones más desfavorables, el nivel del agua se encontrará a una profundidad de 110 m. Adicionalmente es necesario considerar una longitud de captación lo suficientemente amplia para poder maximizar el caudal de extracción, que según los resultados de geofísica, podrá ser del orden de 50 m, por lo que será recomendable considerar una perforación con una profundidad total de 200 m para el sitio 1 y de 180 m para el sitio 2.

A partir de la ecuación de Thiem mencionada en el Capítulo II Metodología se calcularon los descensos que se esperaba tener en los pozos que se perforarían en los sitios identificados como 1 y 2.

La ecuación de Thiem se expresa como:

$$s \approx \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad \dots (4)$$

donde

s= descenso a causa del bombeo

Q= caudal de bombeo

T= transmisividad del acuífero

R= radio de influencia del pozo

r= radio del pozo

Además

$$T=K \cdot b \quad \dots (5)$$

donde

T= transmisividad del acuífero

K= conductividad hidráulica del acuífero

b= espesor saturado del acuífero

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{Tt}{\theta_{ef}}} \quad \dots (6)$$

siendo

R= radio de influencia del pozo

T= transmisividad

t= tiempo de bombeo

$\theta_{ef}$ = porosidad eficaz de la zona saturada

Considerando el valor de conductividad hidráulica promedio del acuífero  $K= 2.54 \times 10^{-3} \left(\frac{cm}{s}\right) = 2.19 \left(\frac{m}{día}\right)$  obtenido en el apartado IV.3.3 Análisis granulométrico, la porosidad eficaz del acuífero  $\theta_{ef} = 0.05$ , tomado de la tabla II.1 (Capítulo II Metodología) y el radio del pozo  $r = 0.1524$  (m) se tiene lo siguiente.

Como se ha mencionado, el acuífero con mayor potencial para ser explotado, corresponde a la unidad UH3. En función de la integración de los resultados, se proponen dos (2) sitios para realizar perforaciones exploratorias. En orden de prioridad se describen a continuación:

### ***Sitio 1***

El sitio que mejor cumple con las condiciones técnicas para perforar un pozo exploratorio, se localiza aproximadamente a 350 m hacia el SE de donde se realizó el Tendido Electromagnético **ALF4**, en las coordenadas aproximadas  $X = 465,687$  e  $Y = 2, 254,842$ .

En este sitio se espera encontrar el nivel estático a una profundidad entre los 100 m y 110 m. El techo del acuífero (unidad UH3) que pretende explotarse, espera perforarse a una profundidad estimada de 130 m +/- 10 m, con un espesor saturado probable en el pozo de unos 100 m aproximadamente (columna de agua que habría en el interior del pozo).

Los valores esperados de abatimiento en el pozo calculados mediante la ecuación de Thiem, como se explico con anterioridad. Considerando dentro de los parámetros hidráulicos un espesor saturado del acuífero (b) de 100 m, entonces:

$$T = 219 \left(\frac{m^2}{día}\right)$$

Tomando en cuenta que el bombeo en el pozo se prolongue por 12 horas (este intervalo de tiempo es en promedio el que bombean otros pozos en la zona y cuyas poblaciones que abastecen son similares a la zona de interés) el radio de influencia teórico del pozo es

$$R= 70.2 \text{ (m)}$$

Los valores de los descensos en el pozo con diferentes caudales de extracción (durante 12 horas) se muestran enseguida:

**Tabla IV.3. Descensos a diferentes caudales para el pozo del sitio 1**

Caudal (L/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Descenso en el pozo (m)
6	259.2	1.16
7	302.4	1.35
8	345.6	1.54
9	388.8	1.73
10	432	1.93

El tipo de roca y sus profundidades que se esperan perforar, se señalan a continuación:

- De 0 m a 65 m: Suelo, depósitos aluviales, toba pumítica arenosa (Unidad UH2)
- De 65 m a 130 m: Tobas riolítica, flujos piroclásticos e ignimbritas con fracturamiento (Unidad UH2)
- De 130 m a 200 m: Toba arenosa y depósitos piroclásticos (Unidad UH3, acuífero a explotar).

## Sitio 2

El segundo sitio que se recomienda, se localiza aproximadamente a 1000 m al noreste del pozo Yonthé Chico donde se realizó el Tendido Electromagnético ALF1, en las coordenadas aproximadas en X = 465,713 e Y = 2, 258,003

En este sitio se espera encontrar el nivel estático a una profundidad entre los 90 m y 100 m. El techo del acuífero (unidad UH3) que pretende explotarse, espera perforarse a una profundidad estimada de 70 m +/- 10 m, con un espesor saturado probable en el pozo de unos 70 m aproximadamente (columna de agua que habría en el interior del pozo).

Considerando dentro de los parámetros hidráulicos un espesor saturado del acuífero (b) de 70 m, entonces:

$$T = 153.3 \left( \frac{m^2}{día} \right)$$

Al igual que para el caso anterior el bombeo en el pozo se prolongará por 12 horas, pero el radio de influencia teórico del pozo es

$$R = 39.2 \text{ (m)}$$

Los valores de los descensos en el pozo con diferentes caudales de extracción (durante 12 horas) se muestran a continuación:

**Tabla IV.4. Descensos a diferentes caudales para el pozo del sitio 2**

Caudal (L/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Descenso en el pozo (m)
6	259.2	1.49
7	302.4	1.74
8	345.6	1.99
9	388.8	2.24
10	432	2.49

El tipo de roca y sus profundidades que se esperan perforar, se señalan a continuación:

- De 0 m a 65 m: Suelo, depósitos aluviales, toba pumítica arenosa (Unidad UH2)
- De 65 m a 130 m: Tobas riolítica, flujos piroclásticos e ignimbritas con fracturamiento (Unidad UH2)

- De 130 m 180 m: Toba arenosa y depósitos piroclásticos (Unidad UH3, acuífero a explotar).

Con respecto a las características constructivas de los pozos exploratorios, se recomienda que la perforación exploratoria se realice en diámetro de 12” de cero a 200 m. Posteriormente se haga la primera ampliación a 22” o 24” hasta los primeros 15 metros para colocar el sello sanitario; posteriormente se volverá a ampliar a 18” hasta los 200 m. Los diámetros finales, posición de la tubería ranurada, longitud del pre-filtro de grava y el diseño final del pozo, dependerán directamente de los resultados y conclusiones derivadas de la perforación del pozo exploratorio y actividades relacionadas, como pruebas de aforo y bombeo, registros eléctricos en el interior del pozo, entre otros, que se detallarán en el capítulo de recomendaciones.

En la figura V.8 se presentan croquis de diseño preliminar de los pozos exploratorios a 200 m y 180 m de profundidad. Los caudales esperados son de por lo menos 6 lps, lo cual es suficiente para los requerimientos del poblado

También se anexa una cotización de la construcción de los pozos propuestos, para que las autoridades del municipio consideren los mecanismos de financiamiento pertinentes.

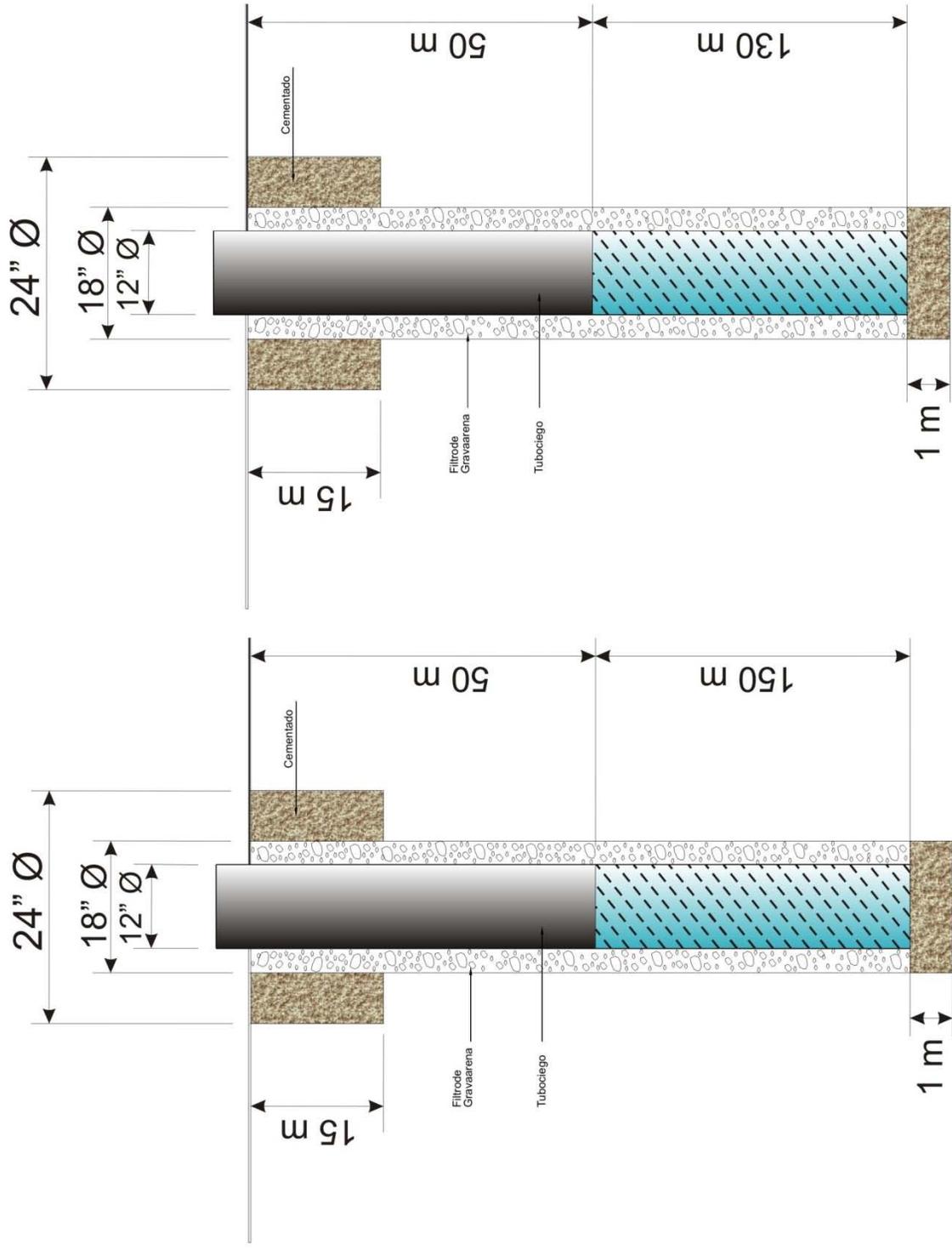


Figura V.12 Croquis del diseño de los pozos a 180 m y 200

#### ***V.4.1. Análisis granulométrico***

En el caso del sitio 1 la diferencia en los descensos esperados en el pozo entre los caudales de extracción mínimo y máximo es de solo 0.77 m, mientras que en el sitio 2 es de 2 m. Esto se debe a los valores del radio de influencia y de transmisividad, siendo el segundo el que tiene mayor impacto. El espesor saturado del acuífero es importante (entre 70 m y 100 m de acuerdo con los resultados del estudio geofísico) ya que para ambos casos la conductividad hidráulica es la misma.

Como se puede apreciar los descensos calculados son menores al 10% del espesor del acuífero por lo que es posible considerar al acuífero en cuestión como confinado y con la consecuente validez de la ecuación de Thiem (Hernández Espriú, 2010, comunicación verbal).

No obstante, los valores de los descensos antes mostrados deben tomarse con reservas, debido a: 1) el parámetro de conductividad hidráulica utilizado conlleva algunas incertidumbres derivadas de la falta de datos certeros en su cálculo (uso de datos tabulados para obtener la porosidad total), 2) las idealizaciones consideradas para el desarrollo de las ecuaciones de Kozeny-Carman y de Thiem, 3) el cálculo del radio de influencia se obtuvo de manera teórica y muy aproximada, 4) La conductividad hidráulica del acuífero utilizada en el cálculo de las transmisividades sólo contempló los valores obtenidos para la parte granular del medio sin considerar la porción fracturada.

#### ***V.5. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA***

De acuerdo con los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio acreditado ABC (Tabla 4.5), los pozos Yonthé Chico y Decá son los únicos que sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) de coliformes totales establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”. La concentración en el primero de ellos es 4.5 veces mayor que el LMP señalado en la norma, mientras que en el pozo Decá dicho límite es rebasado doblemente. Es de particular interés el pozo del

poblado Yonthé Chico ya que constituye una de las alternativas de solución (la tercera) producto de este trabajo. En caso de que se opte por la reactivación de este pozo deberá considerarse la potabilización del agua (posiblemente cloración) con fines de evitar problemas de salud pública.

No obstante, si se opta por la perforación de un nuevo pozo en alguno de los sitios recomendados, es importante realizar análisis químicos del agua que consideren parámetros adicionales a los llevados a cabo en este estudio. Tales parámetros pueden ser

Para contaminación por hidrocarburos

- Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en sus tres fracciones
- Benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos (BTEX)
- Metil tert-butil éter (MTBE)

Otros metales

- Aluminio
- Bario
- Cromo total y cromo hexavalente
- Cadmio
- Cinc
- Cobre
- Cianuros
- Sodio

Lo anterior se recomienda debido a que en gran parte de la zona de interés los cultivos existentes son regados con aguas negras provenientes del Distrito Federal y algunos municipios del estado de México a través de una densa red de canales.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **VI.1 CONCLUSIONES**

- Con el análisis de la información hidrogeológica disponible, se pudo establecer que las principales unidades acuíferas de la zona son las que se identificaron como las unidades hidrogeológicas UH2 y UH3. La unidad UH2 consiste de tobas pumíticas arenosas y depósitos recientes. La unidad UH3 consiste de Tobas riolíticas, Ignimbritas y flujos piroclásticos del Plioceno, que representa la primera unidad acuífera de interés para ser explotada mediante bombeo con caudales en promedio de 6 lps ya que el acuífero es limitado.
  
- Hidrogeológicamente la unidad UH2 representa un acuífero de carácter libre y granular. La unidad UH3 representa el acuífero de mayor potencial en el subsuelo, de carácter mixto caracterizado por la geofísica con intervalos de resistividades entre 15 y 40 [ohm-m]
  
- El valor de conductividad hidráulica calculado para el acuífero granular es bajo por lo que el caudal de extracción esperado oscila entre los 6 y 10 L/s con un abatimiento entre 0.8 y 2 metros. Este caudal es reducido pero satisface las necesidades de agua de la comunidad
  
- De los resultados obtenidos se establece la necesidad de realizar perforaciones exploratorias a 200 m y 180 m en los sitios que se reúnen las mejores condiciones hidrogeológicas.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## VI.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda efectuar perforaciones exploratorias en los siguientes sitios por orden de prioridad y con las siguientes características:

### Ubicación

- Las alternativas para ubicar las perforaciones exploratorias se muestran en la tabla VI.1, y su distribución en el predio se presenta en la Figura 6.1.

Tabla VI.1. Ubicación de alternativas para la perforación exploratoria

Perforaciones exploratorias	Ubicación de referencia	Coordenadas UTM		Profundidad de perforación
		X	Y	
Sitio 1	ALF4	465,687	2, 254,842	200 m
Sitio 2	ALF1	465,713	2, 258,003	180 m

### Diámetro de la perforación

- Se recomienda que la perforación exploratoria se realice en diámetro de 12” de cero a 200 m (sitio 1) o 180 m (sitio 2). Posteriormente se hará la primera ampliación a 22” o 24” hasta los primeros 15 metros; posteriormente se volverá a ampliar a 18” de 15 a 200 m (sitio 1) o 180 m (sitio 2).

### Equipo de perforación

- La perforación se deberá realizar con maquinaria y herramientas adecuadas para atravesar aproximadamente la siguiente secuencia litológica para cada uno de los sitios propuestos:

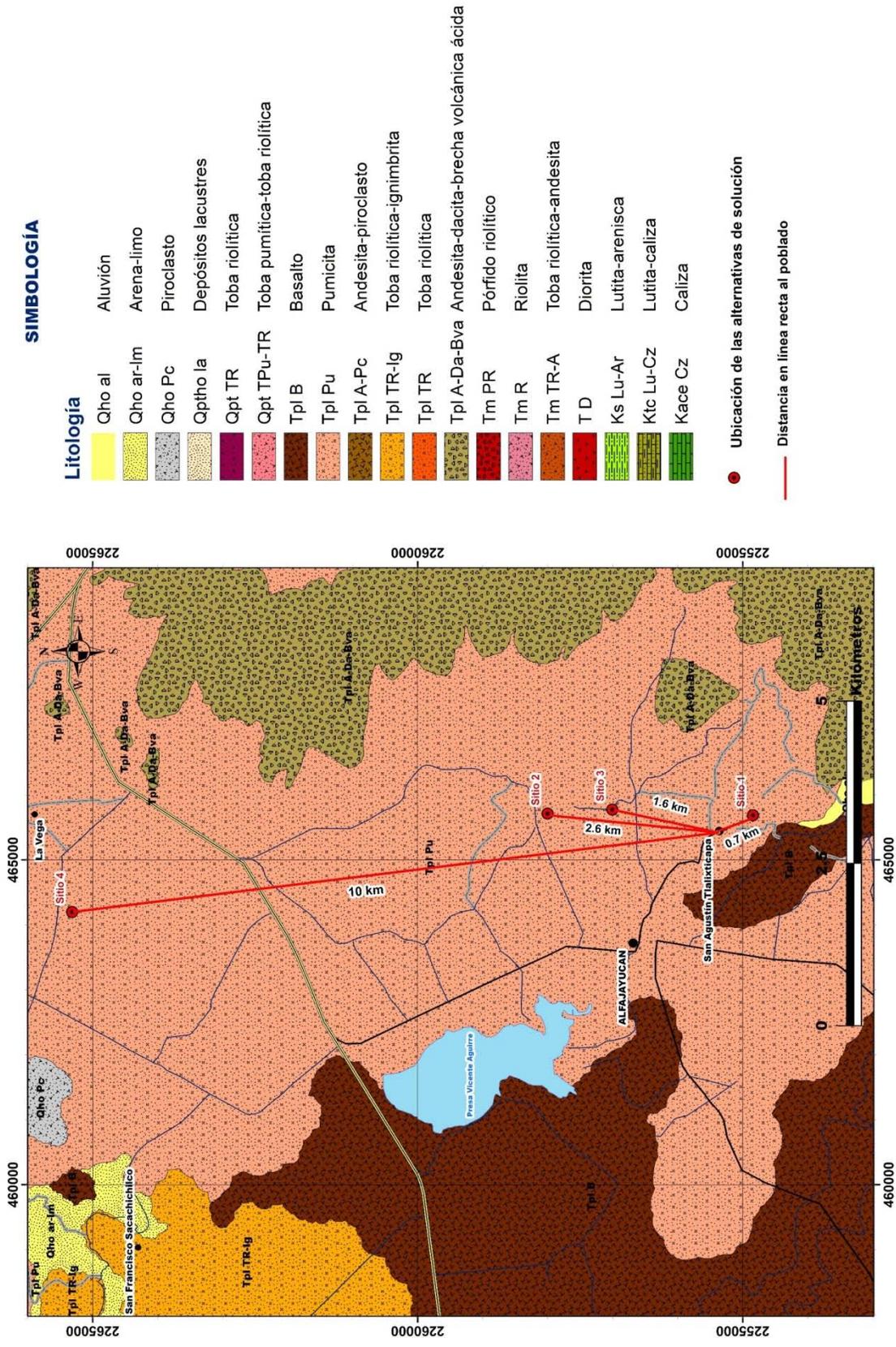


Figura VI.1 Ubicación de las alternativas de solución

**Tabla VI.2. Materiales que se espera atravesar en las alternativas  
para las perforaciones exploratorias**

<b>Perforaciones exploratorias</b>	<b>Profundidad de perforación</b>	<b>Material que se espera perforar*</b>	
<b>Sitio 1</b>	200 m	0-65 m	Suelo, depósitos aluviales, toba pumítica arenosa (Unidad UH2)
		65-130 m	Tobas riolítica, flujos piroclásticos e ignimbritas con fracturamiento (Unidad UH2)
		130-200 m	Toba arenosa y depósitos piroclásticos (Unidad UH3, acuífero a explotar).
<b>Sitio 2</b>	180 m	0-65 m	Suelo, depósitos aluviales, toba pumítica arenosa (Unidad UH2)
		65-130 m	Tobas riolítica, flujos piroclásticos e ignimbritas con fracturamiento (Unidad UH2)
		130-180 m	Toba arenosa y depósitos piroclásticos (Unidad UH3, acuífero a explotar).

\*Las profundidades especificadas son estimaciones gruesas y no deben tomarse como cantidades precisas

- Se recomienda utilizar equipo de perforación con la capacidad suficiente para perforar hasta 300 m, de sistema rotatorio y como mínimo tipo 2000, con todos sus aditamentos en buen estado de funcionamiento y con la herramienta necesaria para ello; como es: tubería de perforación, por lo menos 6 drill collars, barrenas con insertos de carburo de tungsteno, ampliadores en los diámetros que se soliciten y los aditamentos necesarios para cubrir con las especificaciones de diseño del pozo, viscosímetro, etc.
  
- Es también importante señalar que se podría trabajar con pérdidas (totales o parciales) del fluido de perforación, por lo que será necesario contemplar el uso y volúmenes adecuados de lodos bentoníticos para desalojar los recortes, y cuidar en lo posible la obstrucción de las fracturas.

## **Supervisión**

- Es necesario que se tenga una supervisión externa por especialistas durante todo el proceso de perforación, desde la selección del contratista adecuado; es decir, se deberá considerar su maquinaria y experiencia en las profundidades y los materiales a atravesar; asimismo, se deberá cuidar el proceso de perforación exploratoria y terminación del pozo.
- Entre las actividades de la supervisión durante la perforación estará el llevar un control de los avances, caídos, utilización de lodos, aumentos en viscosidad, pérdidas totales o parciales, así como la elaboración del corte litológico, para poder integrar esta información con objeto de definir el *diseño constructivo definitivo*.

## **Registro eléctrico**

- Al término de la perforación exploratoria se deberá correr un registro eléctrico con gráfica de potencial natural y de resistividad lateral y normal, que permita definir los horizontes con mejores posibilidades acuíferas y auxiliar en el diseño definitivo del pozo.

## **Aforo**

- De ser positiva la exploración deberá contemplarse la realización de un aforo para estar en posibilidades de recomendar el equipamiento definitivo considerando la forma de suministro que se requiera (tanque elevado, cisterna etc.).
- Muestreo y caracterización química

## **Diseño de los pozos**

- Se recomienda que el diseño de los pozos de exploración a 200 m (sitio 1) o 180 m (sitio 2) se realice con base en el diseño preliminar de la Figura V.8

Además de lo anteriormente mencionado, se recomienda considerar las siguientes dos opciones para el abastecimiento de agua potable

### **Reactivación del pozo Yonthé Chico**

Por la cercanía al poblado es una buena opción para el abastecimiento de agua potable que requiere el poblado, sugiriendo que se haga previamente a su reactivación un análisis químico para reconocer la calidad del agua

### **Perforación de un pozo cercano a la localización del pozo La Vega**

Es otro sitio que se propone para la perforación de un pozo, el cual representa una excelente opción a largo plazo, ya que la caracterización geológica, hidrogeológica y perfiles geofísicos muestran que las características en el subsuelo son muy favorables para la construcción de un pozo de mayor profundidad y caudales de extracción altos, con la desventaja de la distancia al poblado es grande.

Dicho punto estaría aproximadamente a 2000 m hacia el sureste de la ubicación del tendido electromagnético SA9 con coordenadas aproximadas en  $X = 464,198$  e  $Y = 2, 265,316$  proponiendo una profundidad total de perforación de 250 m, con tubería ciega hasta los 100 m y tubería ranurada de 100 a 250 m de profundidad.

## CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Aguirre-Díaz G., López-Martínez, M., 2009. Evolución geológica de la caldera Donginyó-Huichapan, Cinturón Volcánico Mexicano, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V. 179 pp. 133-148.
- Alvarado Méndez H., López Reyes J., Sánchez Garrido E., Batáz Manríquez G. 2005. Carta geológica-minera escala 1:50 000 Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo, México, Carta F14-C79, Ixmiquilpan.
- Carrasco B., 1970. La Formación El Abra (Formación El Doctor) en la plataforma Valles-San Luis Potosí. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*. p 97-99.
- Carrier W.D. 2003. Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 129 (11), 1054-1056.
- Carrillo J., 1961. La Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Petróleos Mexicanos*.
- Comisión Nacional del Agua, 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo.
- Comisión Nacional del Agua, 2008. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Huichapan-Tecoautla, Estado de Hidalgo.
- Comisión Nacional del Agua, 2009. Consultada el 3 de agosto de 2009. <http://www.conagua.gob.mx/ocavm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=a6487127-8189-494f-9cdb-ceb864703362|Acerca%20de%20la%20Cuenca%20de%20Ixmiquilpan>
- Custodio E. y Llamas M.R., 1983. *Hidrología subterránea*. Tomo I, segunda edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona.
- Domènech L., 2008. Diplomado Internacional en Caracterización y Remediación de Suelos y Acuíferos Contaminados Por Hidrocarburos. Datos no publicados
- Facultad de Ingeniería UNAM 1985. Informe geológico Prospecto Progreso. Área Zimapán-Pachuca. Realizado para Petróleos Mexicanos Convenio 01/84.
- Freeze R.A. y Cherry J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs. New Jersey.
- GEOPSA, 2002. Estudio geológico geofísico para la dictaminación de un sitio con posibilidades para la perforación de un pozo de agua potable para las comunidades



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

de San Agustín Tlalixticapan y la cañada municipio de Alfajayucan, estado de Hidalgo.

- Gómez-Tuena A., Orozco-Esquivel T. y Ferrari L., 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Temas selectos de la geología mexicana. Tomo LVII. No. 3. pp. 227-283.
- Guerra Peña F., 1980. Fotogeología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Dirección General de Publicaciones
- GYMSA S.A. de C.V., 2001. Carta geológica-minera escala 1:50 000 Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo, México, Carta F14-C69, Tasquillo.
- Hernandez Espriú J.A., 2010. Comunicación Personal. Profesor Asociado C, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, 2009. Consultada el 2 de agosto de 2009, <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo>
- Martínez Alfaro P., Martínez Santos P., Castaño Castaño S., 2005. Fundamentos de Hidrogeología. Mundi-Prensa Libros S.A. Barcelona. pp. 125
- Martínez Esparza G., Roque Ayala A., Dircio Castro D., 2009. Carta geológica-minera escala 1:50 000 Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo, México, Carta F14-C78, Huichapan.
- Nabighian, M.N., and Macnae, J.C., 1991. Time domain electromagnetic prospecting methods, in EMAG, V. 2, pp. 427-479.
- Odong J., 2007. Evaluation of empirical formulae for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. Journal of American Science. 3 (3), 54-60.
- Sánchez González A., Ávila Lugo F., De La Calleja M. A., 2002. Carta geológica-minera escala 1:50 000 Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo, México, Carta F14-C68, Tecozautla.
- Segerstrom, k., 1961. Geología del Suroeste del Edo. de Hidalgo y del Noroeste del Edo. de México: Bol. Asoc. Mex. Geólogos petroleros, V. 13, pp. 3, 4.

- Silva Mora L. y Cordoba Diego A., 1996. Vulcanismo explosivo al norte y oeste de la ciudad de Tula estado de Hidalgo, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 13, No. 1, pp. 52-64.
- United States Environmental Protection Agency EPA, 2004. How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites A Guide for Corrective Action Plan Reviewers

# APENDICE 1

Datos de campo



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		14		CLAVE REPDA			
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		GFCH	
MUNICIPIO		Chapantongo		MAPA TOP.		Huichapan F14C78	
POBLADO		Chapantongo				INEGI	
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM		X	456,375
PROPIETARIO		CONAGUA		(GPS)		Y	2,241,941
DIRECCION				ELIP. WGS84		Zona 14N	Z
						Z	2138
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
NORIA		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO		OTRO <input checked="" type="checkbox"/> Galería filtrante El Túnel	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO <input checked="" type="checkbox"/>		INDUSTRIAL		DOM. <input type="checkbox"/> OTRO <input type="checkbox"/>	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
En el sitio hay varias bombas del tipo vertical							
REF. ALTIMETRICA		2138 m		ALTURA DEL BROCAL			
PROF. NIVEL		FECHA		Domingo, 20 de Septiembre de 2009		Caract. Constructivas	
DEL AGUA		(m)		PNE		Corte litológico	
DIAM. COLUMNA		m		PND		Ensayo de bombeo/aforos	
SUCCIÓN (m; in)		in				Análisis químico	
DIAM. TUBERÍA		m				Análisis bacteriológico	
DESCARGA (m; in)		in				Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
REFERENCIA DE PNE/PND							
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
Este aprovechamiento representa la fuente de agua para muchos poblados, entre ellos: Chapantongo, Alfajayucan inclusive San Agustín Tlalixticapa							
No se pidieron observar más características debido a que se encuentra bardeado y cerrado							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
FECHA		Domingo, 20 de Septiembre de 2009		CENSO		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		9		CLAVE REPDA	
ESTADO	Hidalgo			OTRAS CLAVES	MMC1
MUNICIPIO	Alfajayucan - Tasquillo		MAPA TOP.	Tecozautla F14C68	
POBLADO	Madhó Corrales			INEGI	
ACUIFERO CONAGUA	Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM (GPS)	X	461,260
PROPIETARIO	Comunitario			Y	2,268,784
DIRECCION			ELIP. WGS84	Zona 14N	Z
NATURALEZA DEL PUNTO					
NORIA		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO	
				OTRO	Manantial
USO DE LA CAPTACIÓN					
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL	
				DOM.	
				OTRO	
TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)					
Bomba vertical de 30 HP					
REF. ALTIMETRICA	1714 m	ALTURA DEL BROCAL			
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	Jueves, 09 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	<input type="checkbox"/>
	(m)	PNE		Corte litológico	<input type="checkbox"/>
DIAM. COLUMNA	m			Ensayo de bombeo/aforos	<input type="checkbox"/>
SUCCIÓN (m; in)	in			Análisis químico	<input type="checkbox"/>
DIAM. TUBERÍA	m			Análisis bacteriológico	<input type="checkbox"/>
DESCARGA (m; in)	in	3.5"		Hidrógrafo	<input type="checkbox"/>
MEDICIONES EN CAMPO				PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL	
REFERENCIA DE PNE/PND					
OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN					
La excavación de un pequeño cárcamo se hizo a mano					
De este manantial se abastece el poblado en cuestión y algunos otros pequeños poblados					
FOTOGRAFÍAS					
					
FECHA	Jueves, 09 de Julio de 2009		CENSO	Francisco Miguel y Hermes Rochin	

<b>FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:</b>		15		<b>CLAVE REPDA</b>			
<b>ESTADO</b>		Hidalgo		<b>OTRAS CLAVES</b>		PCH1	
<b>MUNICIPIO</b>		Chapantongo		<b>MAPA TOP.</b>		Huichapan F14C78	
<b>POBLADO</b>		El Huizachal				INEGI	
<b>ACUIFERO CONAGUA</b>		Chapantongo-Alfajayucan		<b>COORDENADAS UTM</b>		<b>X</b>	459,470
<b>PROPIETARIO</b>		Municipal		<b>(GPS)</b>		<b>Y</b>	2,243,235
<b>DIRECCION</b>				<b>ELIP. WGS84</b>	Zona 14N	<b>Z</b>	2167
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
<b>NORIA</b>		<b>POZO ENTUBADO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>POZO INACTIVO</b>	<input type="checkbox"/>	<b>OTRO</b>	<input type="checkbox"/>
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
<b>AGRÍCOLA</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>CONSUMO HUMANO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>INDUSTRIAL</b>	<input type="checkbox"/>	<b>DOM.</b>	<input type="checkbox"/>
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
En el sitio hay varias bombas del tipo vertical							
<b>REF. ALTIMETRICA</b>	2167 m	<b>ALTURA DEL BROCAL</b>		0.54 m		<b>Sí No</b>	
<b>PROF. NIVEL DEL AGUA</b>	<b>FECHA</b>	Domingo, 20 de Septiembre de 2009				Caract. Constructivas	
	(m)	PNE	105.9	PND	No medido	Corte litológico	
<b>DIAM. COLUMNA SUCCIÓN (m; in)</b>	m					Ensayo de bombeo/aforos	
	in	4"				Análisis químico	
<b>DIAM. TUBERÍA DESCARGA (m; in)</b>	m					Análisis bacteriológico	
	in	4"				Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
				Prof. total: 200 m aprox.			
<b>REFERENCIA DE PNE/PND</b>		0.63 m					
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
<p>Tiene 10 años en operación este pozo</p> <p>El pozo está registrado como agrícola, sin embargo también embotellan agua proveniente de él, después de potabilizarla</p>							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
<b>FECHA</b>	Domingo, 20 de Septiembre de 2009			<b>CENSO</b>	Francisco Miguel y Hermes Rochin		

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		11		CLAVE REPDA				
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PD1		
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Huichapan F14C78		
POBLADO		El Decá				INEGI		
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM (GPS)		X	457,536	
PROPIETARIO		Comunitario				Y	2,263,196	
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1844	
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>								
NORIA		POZO ENTUBADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POZO INACTIVO		OTRO		
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>								
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO	<input checked="" type="checkbox"/>	INDUSTRIAL		DOM.		
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>								
Bomba sumergible con motor de 30 HP								
REF. ALTIMETRICA	1844 m	ALTURA DEL BROCAL	0.52 m					<b>Sí No</b>
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	Viernes, 10 de Julio de 2009		Caract. Constructivas				<input type="checkbox"/>
	(m)	PNE	84.83	PND	No medido	Corte litológico		<input type="checkbox"/>
DIAM. COLUMNA SUCCIÓN (m; in)	m			Ensayo de bombeo/aforos				<input type="checkbox"/>
	in	4"		Análisis químico				<input type="checkbox"/>
DIAM. TUBERÍA	m			Análisis bacteriológico				<input type="checkbox"/>
DESCARGA (m; in)	in	4"		Hidrógrafo				<input type="checkbox"/>
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>				
Medición del caudal				Prof, total aprox: 194 m				
REFERENCIA DE PNE/PND		Brocal + manguera: 1 m		Caudal: 6 L/s				
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>								
No se midió el nivel dinámico pero se sabe que se abatió cerca de 3 m en 24 h de bombeo.								
El pozo tien 1 año de operación aproximadamente								
<b>FOTOGRAFÍAS</b>								
								
FECHA	Viernes, 10 de Julio de 2009			CENSO	Francisco Miguel y Hermes Rochin			

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		6		CLAVE REPDA	
ESTADO	Hidalgo			OTRAS CLAVES	PE1
MUNICIPIO	Alfajayucan			MAPA TOP.	Huichapan F14C78
POBLADO	El Espíritu			INEGI	
ACUIFERO CONAGUA	Chapantongo-Alfajayucan			COORDENADAS UTM	X 463,562
PROPIETARIO	Comunitario			(GPS)	Y 2,259,292
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N Z 1894
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>					
NORIA		POZO ENTUBADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POZO INACTIVO	<input type="checkbox"/>
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>					
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO	<input checked="" type="checkbox"/>	INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>					
Bomba sumergible con motor de 15 HP					
REF. ALTIMETRICA	1894 m	ALTURA DEL BROCAL	0.52 m	<b>Sí No</b>	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	Jueves, 09 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	<input type="checkbox"/>
	(m)	PNE	87.55	Corte litológico	<input checked="" type="checkbox"/>
		PND	No medido	Ensayo de bombeo/aforos	<input checked="" type="checkbox"/>
DIAM. COLUMNA	m			Análisis químico	<input checked="" type="checkbox"/>
SUCCIÓN (m; in)	in	3"		Análisis bacteriológico	<input checked="" type="checkbox"/>
DIAM. TUBERÍA	m			Hidrógrafo	<input checked="" type="checkbox"/>
DESCARGA (m; in)	in	3"			
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>			<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>		
Medición del caudal			Prof. total aprox: 170 m		
REFERENCIA DE PNE/PND	2.6 m		Caudal: 6 L/s		
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>					
El pozo tiene 1 año de operación aproximadamente					
<b>FOTOGRAFÍAS</b>					
					
FECHA	Jueves, 09 de Julio de 2009		CENSO	Francisco Miguel y Hermes Rochin	

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		12		CLAVE REPDA			
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PHU1	
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Huichapan F14C78	
POBLADO		La Huapilla				INEGI	
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM (GPS)		X	459,981
PROPIETARIO		Comunitario				Y	2,258,268
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1919
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
NORIA		POZO ENTUBADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POZO INACTIVO		OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO	<input checked="" type="checkbox"/>	INDUSTRIAL		DOM.	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
Bomba sumergible de 40 HP							
REF. ALTIMETRICA		1919 m	ALTURA DEL BROCAL		0.33 m		
PROF. NIVEL DEL AGUA		FECHA	Sábado, 11 de Julio de 2009		Caract. Constructivas		<input type="checkbox"/>
		(m)	PNE	108.29	PND	No medido	<input checked="" type="checkbox"/>
DIAM. COLUMNA		m			Corte litológico		<input type="checkbox"/>
SUCCIÓN (m; in)		in	4"		Ensayo de bombeo/aforos		<input type="checkbox"/>
DIAM. TUBERÍA		m			Análisis químico		<input type="checkbox"/>
DESCARGA (m; in)		in	4"		Análisis bacteriológico		<input type="checkbox"/>
					Hidrógrafo		<input type="checkbox"/>
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
				Prof. total aprox: 230 m			
REFERENCIA DE PNE/PND		0.53 m		Caudal: 9 L/s aprox.			
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
El pozo tiene 6 meses en operación.							
El ademe es de 8".							
El caudal se estimó de acuerdo con información del comité del agua del poblado							
Se sabe que el NE en junio de 2008 estaba a 109.91 m de profundidad.							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
FECHA		Sábado, 11 de Julio de 2009		CENSÓ		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

<b>FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:</b>		5		<b>CLAVE REPDA</b>	13HGO105833	
<b>ESTADO</b>	Hidalgo			<b>OTRAS CLAVES</b>	PLV1	
<b>MUNICIPIO</b>	Alfajayucan			<b>MAPA TOP.</b>	Huichapan F14C78	
<b>POBLADO</b>	La Vega				INEGI	
<b>ACUIFERO CONAGUA</b>	Chapantongo-Alfajayucan			<b>COORDENADAS UTM (GPS)</b>	<b>X</b>	465,173
<b>PROPIETARIO</b>	Comunitario				<b>Y</b>	2,265,326
<b>DIRECCION</b>				<b>ELIP. WGS84</b>	Zona 14N	<b>Z</b> 1830
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>						
<b>NORIA</b>		<b>POZO ENTUBADO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>POZO INACTIVO</b>	<input type="checkbox"/>	<b>OTRO</b>
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>						
<b>AGRÍCOLA</b>		<b>CONSUMO HUMANO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>INDUSTRIAL</b>	<input type="checkbox"/>	<b>DOM.</b> <input type="checkbox"/> <b>OTRO</b> <input type="checkbox"/>
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>						
Bomba sumergible						
<b>REF. ALTIMETRICA</b>	1830 m	<b>ALTURA DEL BROCAL</b>	0.54 m			<b>Sí No</b>
<b>PROF. NIVEL DEL AGUA</b>	<b>FECHA</b>	Miércoles, 08 de Julio de 2009		Caract. Constructivas		<input type="checkbox"/>
	(m)	PNE	66.36	PND	No medido	Corte litológico
<b>DIAM. COLUMNA SUCCIÓN (m; in)</b>	m			Ensayo de bombeo/aforos		<input type="checkbox"/>
	in	4"		Análisis químico		<input type="checkbox"/>
<b>DIAM. TUBERÍA DESCARGA (m; in)</b>	m			Análisis bacteriológico		<input type="checkbox"/>
	in	3.5"		Hidrógrafo		<input type="checkbox"/>
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>		
				Prof. total aprox: 140 m		
<b>REFERENCIA DE PNE/PND</b>	0.54 m			Caudal: 6 L/s		
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>						
Hace 5 años se perforó este pozo						
El caudal se estimó a partir de la tubería de descarga y comentarios de los pobladores						
El pozo abastece a 160 tomas de agua en promedio.						
<b>FOTOGRAFÍAS</b>						
						
<b>FECHA</b>	Miércoles, 08 de Julio de 2009			<b>CENSO</b>	Francisco Miguel y Hermes Rochin	

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		2		CLAVE REPDA			
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PNA1	
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Ixmiquilpan F14C79	
POBLADO		Naxthey				INEGI	
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM (GPS)		X	465,852
PROPIETARIO		Comunitario				Y	2,260,310
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1873
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
NORIA		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO		OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL		DOM. OTRO	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
Bomba sumergible de 10 HP							
REF. ALTIMETRICA		1873 m		ALTURA DEL BROCAL		0.33 m	
PROF. NIVEL DEL AGUA		FECHA		Miércoles, 08 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	
		(m)		PNE No medido PND No medido		Corte litológico	
DIAM. COLUMNA		m				Ensayo de bombeo/aforos	
SUCCIÓN (m; in)		in 2.5"				Análisis químico	
DIAM. TUBERÍA		m				Análisis bacteriológico	
DESCARGA (m; in)		in 2.5"				Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
				Prof. total aprox: 201 m			
REFERENCIA DE PNE/PND		0.33 m		Caudal: no medido			
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
No se sondeó el pozo debido al impedimento que representaron sus características constructivas.							
Sin embargo, se sabe que el NE en septiembre de 2008 estaba a 98 m de profundidad aprox.							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
FECHA		Miércoles, 08 de Julio de 2009		CENSO		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		4		CLAVE REPDA			
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PNO1	
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Ixmiquilpan F14C79	
POBLADO		La Nopalera				INEGI	
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM		X	465,463
PROPIETARIO		Comunitario		(GPS)		Y	2,261,335
DIRECCION				ELIP. WGS84		Zona 14N	Z
						Z	1851
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
NORIA		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO		OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL		DOM. OTRO	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
Bomba sumergible de 7.5 HP							
REF. ALTIMETRICA		1851 m		ALTURA DEL BROCAL			
PROF. NIVEL DEL AGUA		FECHA		Miércoles, 08 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	
		(m)		PNE 82.29		PND 64.19	
DIAM. COLUMNA		m				Corte litológico	
SUCCIÓN (m; in)		in 3"				Ensayo de bombeo/aforos	
DIAM. TUBERIA		m				Análisis químico	
DESCARGA (m; in)		in 2.5" y 3"				Análisis bacteriológico	
						Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
Meddición del caudal				Prof. total aprox: 251 m			
REFERENCIA DE PNE/PND				Caudal: 2 L/s			
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
El pozo tiene aproximadamente 3 años funcionando							
La lectura del ND se hizo después de 1 h: 20 min de bombeo							
De acuerdo con los pobladores la tubería ranurada se extiende desde los 89.3 m y hasta los 234.69 m							
El pozo tiene aproximadamente 3 años funcionando							
El pozo cuenta con 2 tuberías de descarga							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
FECHA		Miércoles, 08 de Julio de 2009		CENSÓ		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		10	CLAVE REPDA		
ESTADO	Hidalgo		OTRAS CLAVES	PNV1	
MUNICIPIO	Alfajayucan		MAPA TOP.	Huichapan F14C78	
POBLADO	Pueblo Nuevo		INEGI		
ACUIFERO CONAGUA	Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM	X 463,460	
PROPIETARIO	Municipal		(GPS)	Y 2,254,207	
DIRECCION		El WGS84	Zona 14N	Z 1899	
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>					
NORIA		POZO ENTUBADO	POZO INACTIVO	OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>					
AGRÍCOLA	CONSUMO HUMANO	INDUSTRIAL	DOM.	OTRO	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>					
Bomba sumergible					
REF. ALTIMETRICA	1899 m	ALTURA DEL BROCAL	0.33 m		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	Viernes, 10 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	
	(m)	PNE	No medido	PND	No medido
DIAM. COLUMNA	m			Corte litológico	
SUCCIÓN (m; in)	in	6"		Ensayo de bombeo/aforos	
DIAM. TUBERÍA	m			Análisis químico	
DESCARGA (m; in)	in	6"		Análisis bacteriológico	
				Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>			<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>		
Medición del caudal			Prof, total aprox: 200 m		
REFERENCIA DE PNE/PND			Caudal: 23 L/s		
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>					
No se pudieron medir los niveles dinámico y estático por sus características constructivas					
El pozo pertenece al municipio y es uno de los principales que abastecen a las zonas circundantes					
<b>NO SE SONDEO</b>					
<b>FOTOGRAFÍAS</b>					
					
FECHA	Viernes, 10 de Julio de 2009		CENSÓ	Francisco Miguel y Hermes Rochin	

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		7		CLAVE REPDA	
ESTADO	Hidalgo			OTRAS CLAVES	PSF1
MUNICIPIO	Alfajayucan			MAPA TOP.	Huichapan F14C78
POBLADO	San Francisco Sacachichilco				INEGI
ACUIFERO CONAGUA	Chapantongo-Alfajayucan			COORDENADAS UTM (GPS)	X 459,565
PROPIETARIO	Comunitario				Y 2,264,391
DIRECCION		ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1762
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>					
NORIA		POZO ENTUBADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POZO INACTIVO	<input type="checkbox"/>
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>					
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO	<input checked="" type="checkbox"/>	INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>
		DOM.	<input type="checkbox"/>	OTRO	<input type="checkbox"/>
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>					
Bomba sumergible					
REF. ALTIMETRICA	1762 m	ALTURA DEL BROCAL	0.22 m		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	Jueves, 09 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	<input type="checkbox"/>
	(m)	PNE	0.96	Corte litológico	<input type="checkbox"/>
		PND	No medido	Ensayo de bombeo/aforos	<input type="checkbox"/>
DIAM. COLUMNA	m			Análisis químico	<input type="checkbox"/>
SUCCIÓN (m; in)	in	4"		Análisis bacteriológico	<input type="checkbox"/>
DIAM. TUBERÍA	m			Hidrógrafo	<input type="checkbox"/>
DESCARGA (m; in)	in	4"			<input type="checkbox"/>
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>	
				Prof, total aprox: 130 m	
REFERENCIA DE PNE/PND	0.36 m			Caudal: 12 L/s aprox.	
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>					
El pozo tiene tres tuberías de descarga de 4" cada una.					
El nivel estático se tomó desde una altura de 0.36 m a partir del piso.					
El caudal del pozo se obtuvo a partir de datos del comité de agua del poblado					
<b>FOTOGRAFÍAS</b>					
					
FECHA	Jueves, 09 de Julio de 2009		CENSO	Francisco Miguel y Hermes Rochin	

<b>FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:</b>		8		<b>CLAVE REPDA</b>			
<b>ESTADO</b>		Hidalgo		<b>OTRAS CLAVES</b>		PSX1	
<b>MUNICIPIO</b>		Alfajayucan		<b>MAPA TOP.</b>		Huichapan F14C78	
<b>POBLADO</b>		Santa María Xigüí				INEGI	
<b>ACUIFERO CONAGUA</b>		Chapantongo-Alfajayucan		<b>COORDENADAS UTM</b>		<b>X</b>	464,606
<b>PROPIETARIO</b>		Comunitario		<b>(GPS)</b>		<b>Y</b>	2,262,503
<b>DIRECCION</b>				<b>ELIP. WGS84</b>	Zona 14N	<b>Z</b>	1851
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
<b>NORIA</b>		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO		OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
<b>AGRÍCOLA</b>		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL		DOM. OTRO	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
Bomba sumergible de 75 HP							
<b>REF. ALTIMETRICA</b>		1851 m		<b>ALTURA DEL BROCAL</b>		0.51 m	
<b>PROF. NIVEL DEL AGUA</b>		<b>FECHA</b>		Jueves, 09 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	
		(m)		PNE 57.06		Corte litológico	
<b>DIAM. COLUMNA SUCCIÓN (m; in)</b>		m		PND 59.14		Ensayo de bombeo/aforos	
		in 4"				Análisis químico	
<b>DIAM. TUBERÍA DESCARGA (m; in)</b>		m				Análisis bacteriológico	
		in 4"				Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
				Prof. total aprox: 310 m			
<b>REFERENCIA DE PNE/PND</b>		0.51 m		Caudal: no medido			
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
El pozo tiene 15 años en operación							
El ND del pozo se midió después de 7.5 h de bombeo.							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
<b>FECHA</b>		Jueves, 09 de Julio de 2009		<b>CENSÓ</b>		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

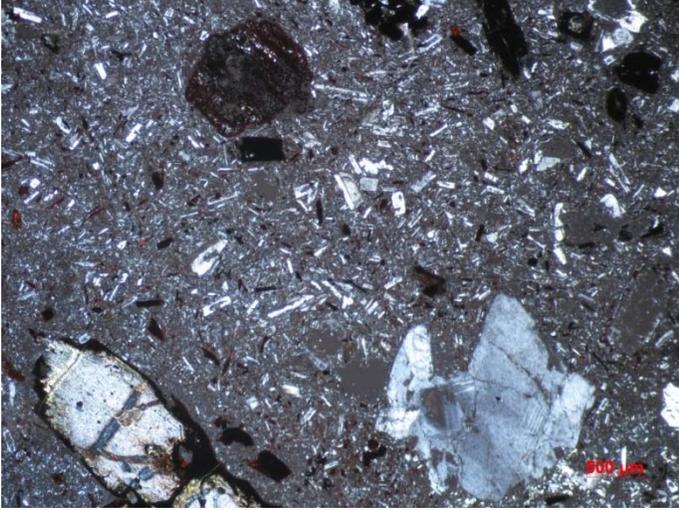
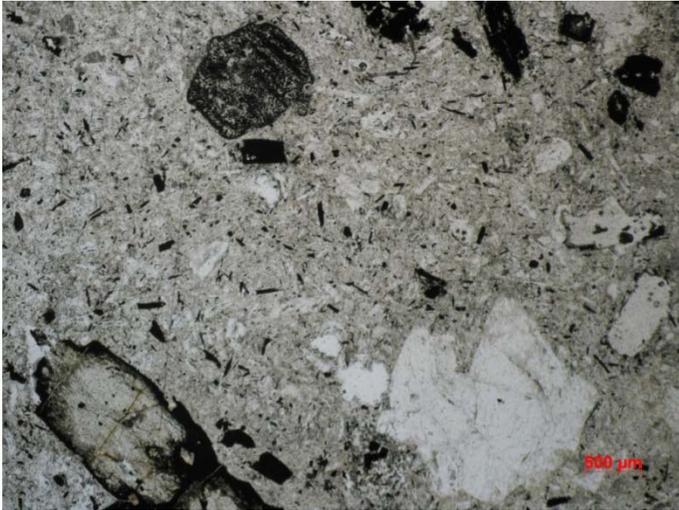
FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		3		CLAVE REPDA			
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PT1	
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Ixmiquilpan F14C79	
POBLADO		Taxhie				INEGI	
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM (GPS)		X	466,374
PROPIETARIO		Comunitario				Y	2,259,029
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1897
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
NORIA		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO		OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL		DOM. OTRO	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
Bomba sumergible de 60 HP							
REF. ALTIMETRICA		1897 m		ALTURA DEL BROCAL		0.75 m	
PROF. NIVEL DEL AGUA		FECHA		Miércoles, 08 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	
		(m)		PNE 102.12		PND 100.3	
DIAM. COLUMNA		m				Corte litológico	
SUCCIÓN (m; in)		in 4.5"				Ensayo de bombeo/aforos	
DIAM. TUBERÍA		m				Análisis químico	
DESCARGA (m; in)		in 4.5"				Análisis bacteriológico	
						Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
REFERENCIA DE PNE/PND				0.75 m		Prof. total aprox: 150 m	
						Caudal: 12 L/s	
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
<p>El pozo está activo desde hace 15 años aproximadamente.</p> <p>La lectura del ND se realizó después de 1 h de bombeo</p> <p>Se registra un cambio de tubería hace 2 años de cédula 80 a 40.</p>							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
FECHA		Miércoles, 08 de Julio de 2009		CENSÓ		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

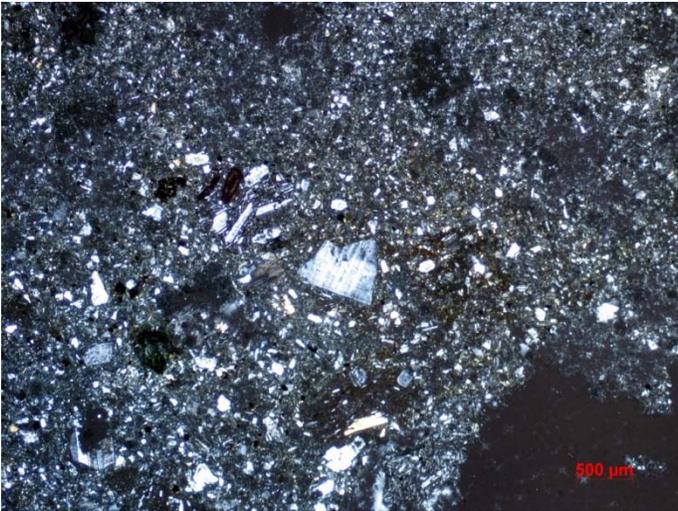
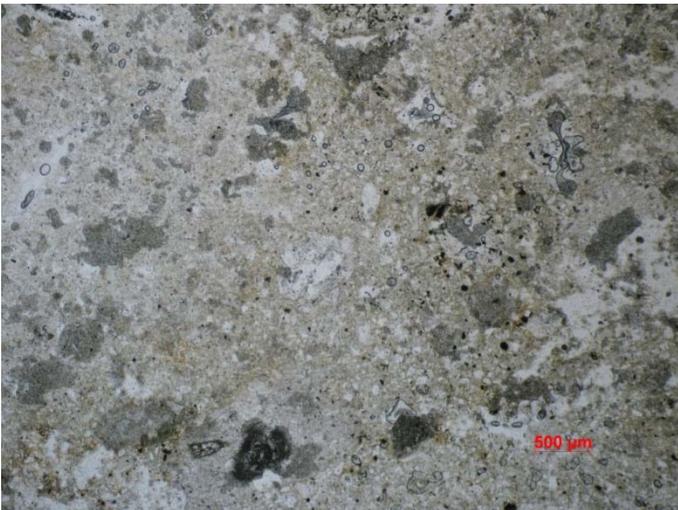
FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		13		CLAVE REPDA																	
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PNO1															
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Ixmiuilpan F14C79															
POBLADO		Yonthé Chico				INEGI															
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM		X	465,775														
PROPIETARIO		Comunitario		(GPS)		Y	2,257,007														
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1908														
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>																					
NORIA		POZO ENTUBADO <input checked="" type="checkbox"/>		POZO INACTIVO		OTRO															
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>																					
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL		DOM. <input checked="" type="checkbox"/> OTRO															
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>																					
Bomba sumergible																					
REF. ALTIMETRICA		1908 m		ALTURA DEL BROCAL																	
PROF. NIVEL DEL AGUA		FECHA				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sí</th> <th>No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table>		Sí	No	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										
Sí	No																				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
		PNE 95.54		PND No medido																	
DIAM. COLUMNA		m																			
SUCCIÓN (m; in)		in 4"																			
DIAM. TUBERÍA		m																			
DESCARGA (m; in)		in 4"																			
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>																	
				Prof. total aprox: 180 m																	
REFERENCIA DE PNE/PND				Caudal: No medido																	
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>																					
El agua del pozo tiene mal sabor, de acuerdo con lo relatado por los pobladores. No la beben																					
Este pozo permanece encendido de 7 h a 8 h diarias																					
<b>FOTOGRAFÍAS</b>																					
																					
FECHA				CENSO		Francisco Miguel y Hermes Rochin															

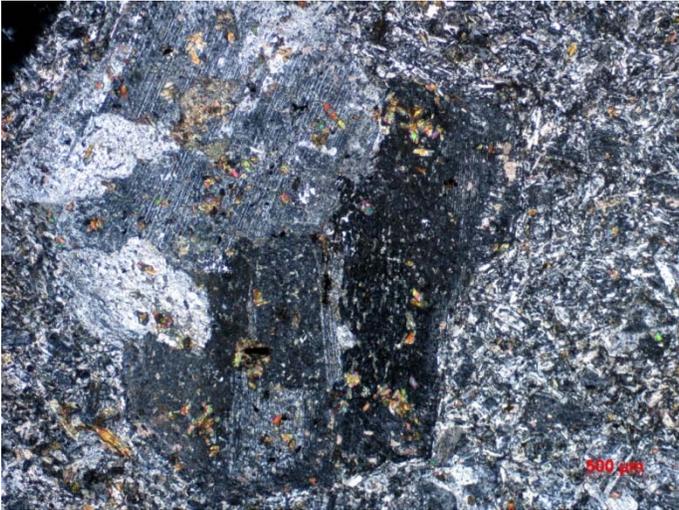
FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA No:		1		CLAVE REPDA			
ESTADO		Hidalgo		OTRAS CLAVES		PZ1	
MUNICIPIO		Alfajayucan		MAPA TOP.		Huichapan F14C78	
POBLADO		Zoea				INEGI	
ACUIFERO CONAGUA		Chapantongo-Alfajayucan		COORDENADAS UTM		X	462,443
PROPIETARIO		Organismo operador		(GPS)		Y	2,260,394
DIRECCION				ELIP. WGS84	Zona 14N	Z	1890
<b>NATURALEZA DEL PUNTO</b>							
NORIA		POZO ENTUBADO		POZO INACTIVO		OTRO	
<b>USO DE LA CAPTACIÓN</b>							
AGRÍCOLA		CONSUMO HUMANO		INDUSTRIAL		DOM. OTRO	
<b>TIPO DE MOTOR Y BOMBA (sumergible, turbina centrífuga, HP, etc.)</b>							
Bomba sumergible de 75 HP							
REF. ALTIMETRICA		1890 m		ALTURA DEL BROCAL		0.49 m	
PROF. NIVEL DEL AGUA		FECHA		Martes, 07 de Julio de 2009		Caract. Constructivas	
		(m)		PNE	84.6	PND	92.22
DIAM. COLUMNA		m				Corte litológico	
SUCCIÓN (m; in)		in 4"				Ensayo de bombeo/aforos	
DIAM. TUBERÍA		m				Análisis químico	
DESCARGA (m; in)		in 4"				Análisis bacteriológico	
						Hidrógrafo	
<b>MEDICIONES EN CAMPO</b>				<b>PROFUNDIDAD TOTAL Y CAUDAL</b>			
Medición del caudal				Prof. total aprox: 310 m			
REFERENCIA DE PNE/PND		0.49 m		Caudal: 24 L/s			
<b>OBSERVACIONES GENERALES DE LA CAPTACIÓN</b>							
De acuerdo con información del encargado del pozo se construyó en 1990							
Hace 5 años se llevó a cabo un cambio de tuberías del pozo							
Según información del encargado del pozo la bomba está a 168 m de profundidad							
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
FECHA		Martes, 07 de Julio de 2009		CENSÓ		Francisco Miguel y Hermes Rochin	

# APENDICE II

## Petrografía

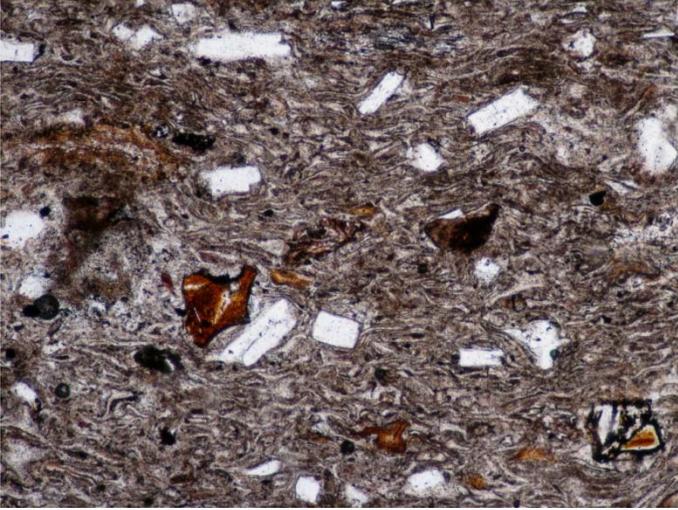
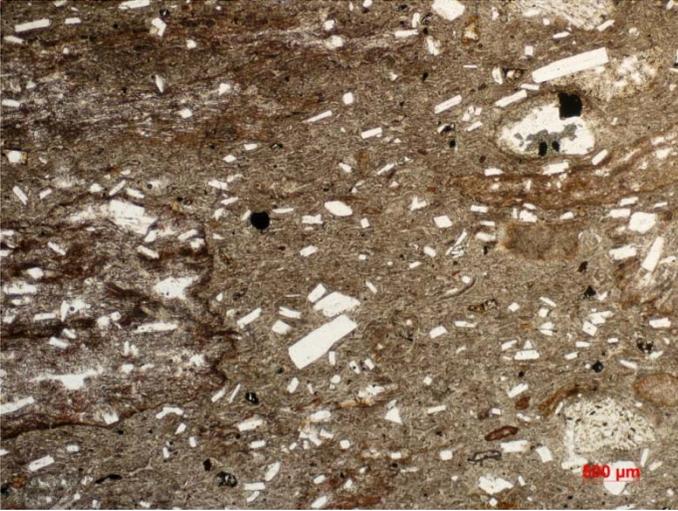
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA:	SAT4	LOCALIDAD:	San Agustín Talixticapa
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas (Oligoclasa, Andesina)	Minerales opacos	Óxidos de hierro	
	Anfíboles		
GENERALIDADES:			
<p>Muestra previamente endurecida con bálsamo. Roca de textura microporfídica constituida de fenocristales de Plagioclasas de composición intermedia quebrados y rodeados de una matriz microlítica, algunos de los fenocristales presentan textura de tamiz, también se pueden observar algunos cristales subedrales de anfíboles alterados a óxidos de hierro. Por sus características esta roca no permite el almacenamiento o flujo de agua subterránea</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Brecha Volcánica Andesítica		
FOTOMICROGRAFÍAS			
			
<p>Fenocristal de Plagioclasa rodeado de una matriz microlítica y Anfíbol con bordes negros debido a oxidación vistos en LPA.</p>			
			
<p>Fenocristales de Plagioclasa y Anfíbol visto en LPNA</p>			
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA:	MMC4	LOCALIDAD:	Manantial Madho Corrales
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas	Anfiboles	Minerales arcillosos	
cuarzo	Fragmentos de roca	Clorita	
GENERALIDADES:			
<p>Para su elaboración la muestra fue endurecida previamente con bálamo.  Roca con textura Merocrystalina piroclástica con cristales de Plagioclasa con bordes quebrados, cuarzo, cristales de Anfiboles con bordes corroídos, fragmentos de roca. Esta unidad litológica se encuentra poco consolidada y con características de porosidad y permeabilidad atractivas para poderla considerar como unidad acuífera</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Toba cristalina		
FOTOMICROGRAFÍAS			
			
<p>Cristal quebrado de Plagioclasa, fragmentos de roca y cristales de Cuarzo vistos en LPA</p>			
			
<p>Fragmentos de roca, Plagioclasas y Cuarzo vistos en LPNA</p>			
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

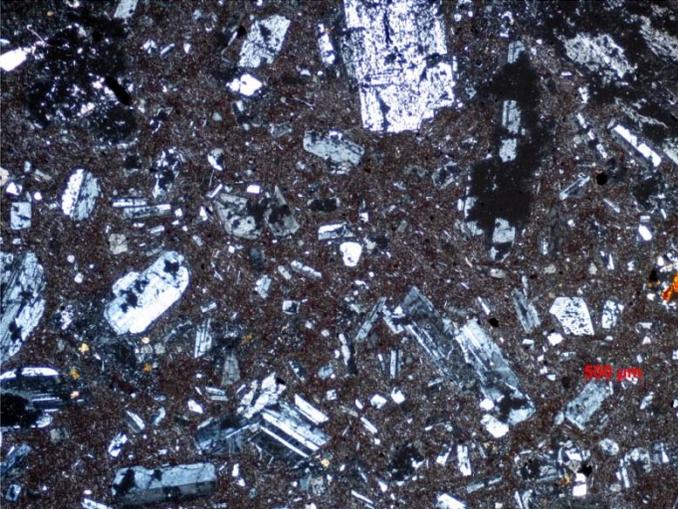
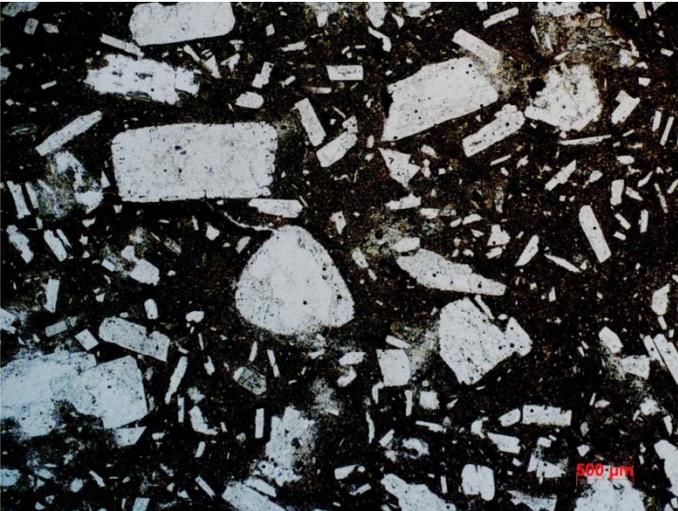
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA:	PVG8	LOCALIDAD:	Panales
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas (alteradas)	Clinopiroxenos	Minerales arcillosos	
	Minerales opacos		
GENERALIDADES:			
<p>Roca alterada que dificulta la identificación de minerales, pero se observan "fantasmas" que permiten identificar la textura Equigranular y Holocristalina original constituida por cristales de Plagioclasas alteradas a minerales arcillosos, Clinopiroxenos y Anfíboles alterándose como óxidos de hierro.</p> <p>Por su origen esta roca puede considerarse como un límite impermeable y aunque fracturado la presencia de arcillas no la hacen apta para el almacenamiento o flujo de agua subterránea</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Diorita		
FOTOMICROGRAFÍAS			
		<p>Cristales de Plagioclasa alterados a minerales arcillosos visto en LPA</p>	
		<p>Cristal de Clinopiroxeno con alteración y reemplazamiento visto en LPA</p>	
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA:	PVG9	LOCALIDAD:	
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas (Andesina – Oligoclasa)	Anfiboles (Hornblenda)	Óxidos de hierro	
	Clinopiroxeno (Augita)		
	Minerales opacos		
GENERALIDADES:			
<p>Roca de textura microporfídica constituida por fenocristales de Plagioclasa euedrales, clinopiroxenos y anfíboles subeuedrales rodeados de una matriz microlítica de plagioclasas sin orientación. Algunos fenocristales de Plagioclasa presentan zoneamiento.</p> <p>Por sus características esta roca no permite el flujo o almacenamiento de agua subterránea</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Andesita		
FOTOMICROGRAFÍAS			
		<p>Fenocristales de Plagioclasa rodeados de matriz y cristal subeudral de augita con colores de interferencia de segundo orden vistos en LPA.</p>	
		<p>Fenocristales de Plagioclasa vistos en LPNA</p>	
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA:	GS1	LOCALIDAD:	La Salitrera
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas	Anfíboles		
	Minerales opacos		
GENERALIDADES:			
<p>Roca con textura holocristalina microporfídica formada por fenocristales de Plagioclasas y Anfíboles rodeados de microlitos con textura traquitica, también se observan cristales euedrales de Anfíboles que presentan corrosión.</p> <p>Por sus características petrofísicas no se le considera como unidad permeable, por lo tanto no forma parte del acuífero.</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Andesita		
FOTOMICROGRAFÍAS			
			
<p>Fenocrystal de Plagioclasa y Anfíbol rodeados de microcristales orientados vistos en LPA</p>			
			
<p>Idem. Visto en LPNA</p>			
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA:	GD1	LOCALIDAD:	Deca
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Feldespatos (Sanidino)	Vidrio		
Plagioclasas	Fragmentos de roca		
GENERALIDADES:			
<p>Roca de textura Merocrystalina Eutaxitica constituida por vidrio, fragmentos de roca, cristales euedrales rotos de Plagioclasas y Feldespatos. Se puede apreciar la textura fluidal y la compactación de los fragmentos de pómez, por lo cual se clasifico como una ignimbrita soldada. Esta roca por sus características no permite el flujo o almacenamiento de agua, pero las observaciones de campo muestran a esta unidad con un alto grado de fracturación lo cual le adjudica una porosidad secundaria importante capaz de permitir el flujo de agua subterránea.</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Ignimbrita soldada		
FOTOMICROGRAFÍAS			
			
<p>Cristales euedrales de Sanidino rodeados de una matriz vítrea vistos en LPNA</p>			
			
<p>Cristales, fragmentos de roca y pómez con compactación rodeados de matriz vítrea vistos en LPNA</p>			
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA: SAT 1		LOCALIDAD:	San Agustín Tlalixticapa
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas	Olivino	Óxidos de hierro	
	Clinopiroxenos		
GENERALIDADES:			
<p>Roca de textura inequigranular con micro fenocristales subeudrales de plagioclasas, olivino y clinopiroxenos rodeados de microlitos. Los cristales de olivino se observan fracturados y con presencia de óxidos de hierro.</p> <p>Esta unidad litológica no constituye parte del acuífero, pero al encontrarse fracturada contribuye a la recarga de agua subterránea.</p>			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Basalto de Olivino		
FOTOMICROGRAFÍAS			
		<p>Microfenocristales de Plagioclasas y Olivinos con colores de interferencia amarillos de segundo orden vistos en LPA</p>	
		<p>Plagioclasas y cristales de Olivino con óxidos de hierro vistos en LPNA</p>	
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
MUESTRA: PVG10		LOCALIDAD:	Cerro azul
MINERALES PRIMARIOS:	MINERALES ACCESORIOS:	MINERALES SECUNDARIOS:	
Plagioclasas (Oligoclasa – Andesina)	Vidrio	Minerales arcillosos	
	Fragmentos de roca		
GENERALIDADES:			
Roca con textura Merocristalina Piroclástica con algunos fragmentos de roca, cristales euedrales rotos de Plagioclasas. Las plagioclasas presentan zoneamiento y se encuentran alteradas a minerales arcillosos, algunos cristales así como fragmentos de roca tienen rasgos de disolución. A pesar de presentar rasgos de disolución, por su contenido en minerales arcillosos esta unidad no permite el flujo de agua subterránea.			
CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Brecha volcánica Andesítica		
FOTOMICROGRAFÍAS			
		<p>Cristales de Plagioclasa con bordes rotos, con alteración y huecos de disolución vistos en LPA</p>	
		<p>Cristales de Plagioclasas con bordes quebrados y fragmentos de roca vistos en LPNA</p>	
VERIFICO:	Hermes Rochin García, Francisco Miguel Cortés		

# APENDICE III

Cotización del pozo a 200 m

Lugar y Fecha: Celaya, Gto. A 03 de Febrero de 2010

**Datos del Cliente:**

**Razón Social:** PARTICULAR  
**AT´N:** Hermes Rochin García.  
**Dirección:**  
**Teléfono:** 045 55 13 40 13 72  
**E-mail:** [ehcaxochitl@hotmail.com](mailto:ehcaxochitl@hotmail.com)

Ing. Hermes Rochin García:

Nos permitimos poner a su amable consideración, nuestra propuesta económica para la perforación de un pozo Profundo, ubicado en San Agustín Tlaxiaticapa, el municipio de Alfajayucan, Hidalgo al Sureste de Ixmiquilpan, con las siguientes características:

**Profundidad del pozo: 200 Mts.**

**Diámetro de la perforación: 18"**

**Diámetro de ademe: 12" x 1/4"**

CLAVE	DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
<b>PRIMERA ETAPA</b>					
PREL 1	Movimiento completo del equipo de perforación desde su lugar de origen a la localidad señalada.	Lote.	1.00	20,000.00	20,000.00
PREL 2	Instalación y desmantelamiento del equipo de perforación.	Lote.	1.00	8,000.00	8,000.00
PREL 3	Preparación de lodos bentoníticos de perforación a base de agua limpia y sin aditivos químicos, incluye excavación y relleno de fosas para lodo.	Ton.	20.00	1,700.00	34,000.00
PER 0	<b>PERFORACIÓN EXPLORATORIA</b>				
PER	Perforación Exploratoria a 12" de diámetro en cualquier tipo de material.	Mts.	200.00	2,500.00	500,000.00
REG-E	Registro eléctrico de 3 curvas, una de potencial y dos de resistividad, y correlación con las muestras litológicas, presentando informe por escrito.	Lote.	1.00	10,000.00	10,000.00
<b>TOTAL DE LA PRIMERA ETAPA.</b>					<b>\$572,000.00</b>

<b>SEGUNDA ETAPA</b>					
<b>CA</b>	<b>SELLO SANITARIO</b>				
AMP	Ampliación de Perforación de 12" a 24" de diámetro en cualquier tipo de material.	Mts.	15.00	1,000.00	15,000.00
C-TCA	Colocación de tubería de contra ademe de 20" de diámetro x 1/4 de espesor.	Mts.	15.00	90.00	1,350.00
CEM-CA	Cementación de espacio anular entre agujero de 24" y tubo de 20" para sello sanitario.	M3.	2.00	1,000.00	2,000.00
<b>AMP 0</b>	<b>AMPLIACIÓN DE PERFORACIÓN</b>				
AMP	Ampliación de pozo de 12" a 18" de diámetro en cualquier tipo de material.	Mts.	185.00	1,100.00	203,500.00
C-TA	Colocación de tubería de ademe de 12" de diámetro x 1/4" de espesor.	Mts.	200.00	50.00	10,000.00
SC-GRA	Suministro y colocación de grava para filtro de pozo de 1/4 a 1/2 lavada.	M3.	23.00	1,000.00	23,000.00
LAV-DISP	Lavado de pozo a base de agua limpia, incluye 200 Lts. De dispersor de arcillas	Lote.	1.00	10,000.00	10,000.00
<b>TOTAL DE LA SEGUNDA ETAPA</b>					<b>\$264,850.00</b>

<b>TC</b>	<b>ETAPA FINAL</b>				
TC-AFO	Desarrollo y aforo con una bomba de 6" de diámetro, una columna de hasta 180 Mts. Y una duración de 36 Horas. Incluye reporte final y recomendaciones por escrito.	Lote.	1.00	25,000.00	25,000.00
TC-HAF O	Hora adicional de bombeo por instrucciones de la contratante.	Hra.	0.00	500.00	0.00
TC-HIAF O	Equipo de aforo inactivo por instrucciones de la contratante.	Hra.	0.00	300.00	0.00
TC-AFQ	Toma de muestra de agua para la realización de estudio químico-biológico según norma NOM-127-SSA1-1994. se entregara estudio por escrito con laboratorio certificado.	Lote.	1.00	8,000.00	8,000.00
TC-BRO	Construcción de brocal.	Lote.	1.00	3,500.00	3,500.00
TC-VID	Video grabación de pozo.	Lote.	1.00	5,000.00	5,000.00
<b>TOTAL DE LA ETAPA FINAL</b>					<b>\$41,500.00</b>

<b>SUB-TOTAL DE PERFORACIÓN:</b>	<b>\$878,350.00</b>
<b>16% I.V.A.:</b>	<b>\$140,536.00</b>
<b>TOTAL DE PERFORACIÓN:</b>	<b>\$1,018,886.00</b>

**(\*\*\* Un millón dieciocho mil ochocientos ochenta y seis pesos, 00/100 M.N. \*\*\*)**

S-TA	TUBERÍAS DE ADEME				
S-TAL	Suministro de tubería de acero, lisa de 12" de diámetro x 1/4" de espesor ASTM A53 GRADO B , MARCA REG. ROMSA, incluye fletes y maniobras.	Mts.	50.00	800.00	40,000.00
S-TARC	Suministro de tubería de acero, ranurada tipo canastilla 2.0 mm. de 12" de diámetro x 1/4" de espesor ASTM A53 GRADO B , MARCA REG. ROMSA, incluye fletes y maniobras.	Mts.	150.00	1,050.00	157,500.00
S-TLCA	Suministro de tubería de acero, lisa de 20" de diámetro x 1/4 de espesor. Fabricado con placa norma ASTM A53 grado B soldado con doble arco, marca registrada y certificada ROMSA, Incluye fletes y maniobras.	Mts.	15.00	1,200.00	18,000.00
<b>SUB-TOTAL SUMINISTRO DE TUBERÍA DE ADEME</b>					<b>\$215,500.00</b>
					<b>16% I.V.A.: \$34,480.00</b>
					<b>TOTAL SUMINISTRO DE TUBERÍA: \$249,980.00</b>
<b>(*** Doscientos cuarenta y nueve mil novecientos ochenta pesos, 00/100 M.N. ***)</b>					
					<b>TOTAL DE LA OBRA: \$1,268,866.00</b>
<b>(***Un millón doscientos sesenta y ocho mil ochocientos sesenta y seis pesos, 00/100 M.N.***)</b>					

**Forma de pago:**

35 % de anticipo a la firma del contrato  
Diferencia en estimaciones quincenales de acuerdo al avance.  
El saldo total, al término de la obra.  
Tubería contra factura.

**Disponibilidad del equipo de perforación:** Primer semana de marzo del 2010

**Tiempo estimado de Ejecución de los trabajos:** de 4 a 5 semanas.

**Equipo a usar:** 25-SS KOHERING

**Precios sujetos a cambio sin previo aviso.**

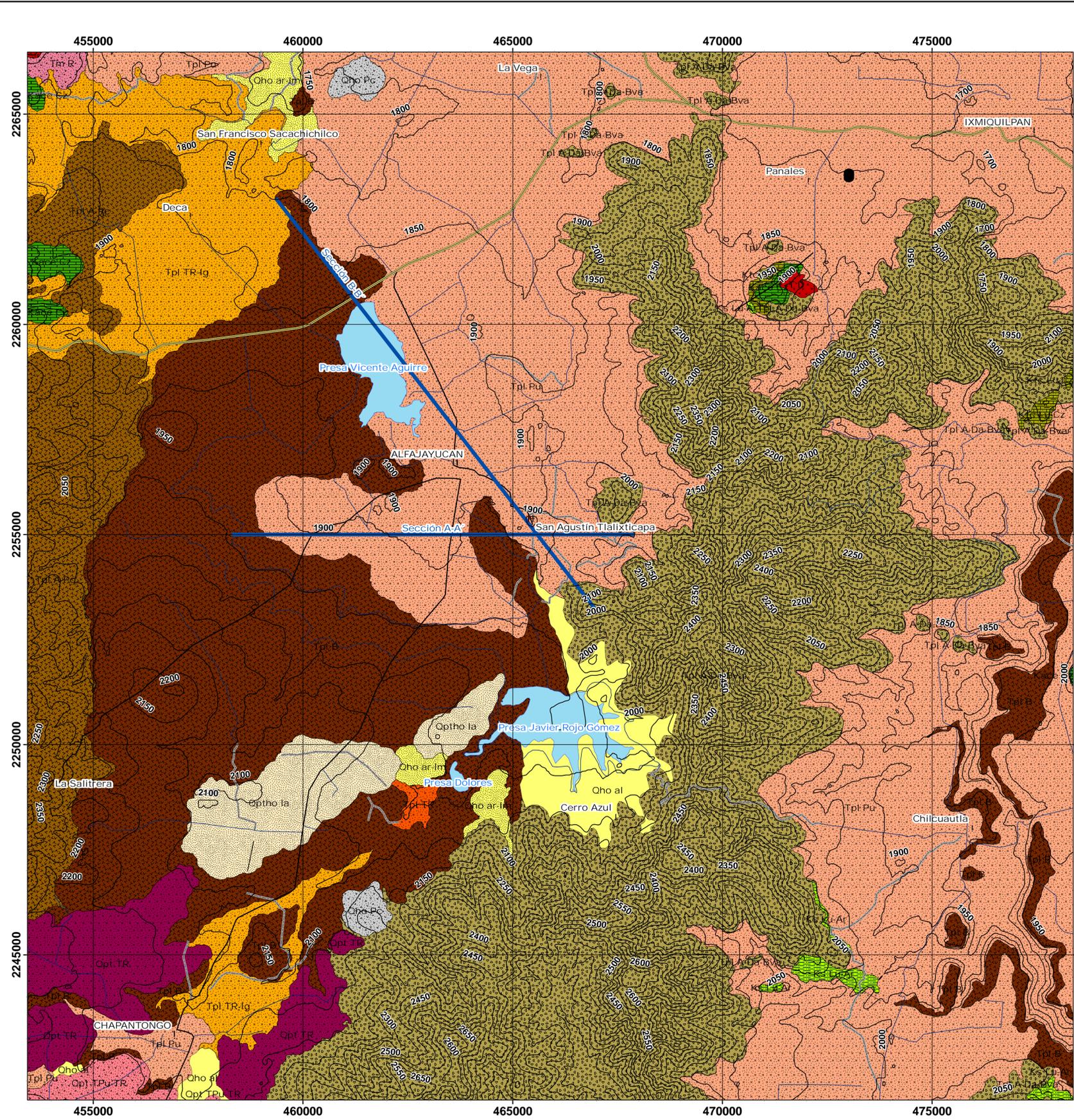
**Costo de la tubería:** será el que rija en el mercado en la fecha de su compra. **SE SUGIERE PAGAR O ADQUIRIR LA TUBERÍA LO ANTES POSIBLE, PARA QUE FUTUROS INCREMENTOS EN EL PRECIO DEL ACERO NO AFECTEN EL COSTO DE ESTE CONCEPTO.**

**\*La empresa NO se hace responsable de la cantidad ni la calidad del agua.\***

**Sin más por el momento, y en espera de poderles servir como se merecen, quedamos de ustedes sus S.S.**

\_\_\_\_\_  
Raúl Romero García  
PERFORADORES ASOCIADOS DEL BAJÍO S.A.

# PLANOS



### SIMBOLOGÍA

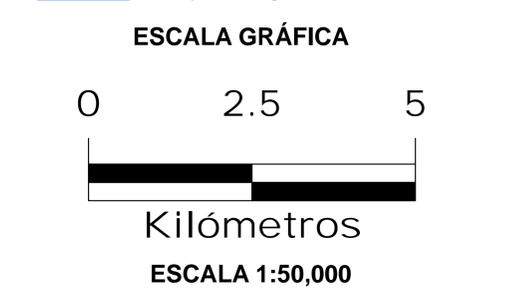
	Sección geológica
	Falla inversa
	Falla normal
	Fractura
	Pliegue anticlinal
	Pliegue sinclinal
	Qho al Aluvión
	Qho ar-lm Arena-limo
	Qho Pc Piroclasto
	Qptho la Depósitos lacustres
	Qpt TR Toba riolítica
	Qpt TPu-TR Toba pumítica-toba riolítica
	Tpl B Basalto
	Tpl Pu Pumicita
	Tpl A-Pc Andesita-piroclasto
	Tpl TR-Ig Toba riolítica-ignimbrita
	Tpl TR Toba riolítica
	Tpl A-Da-Bva Andesita-dacita-brecha volcánica ácida
	Tm PR Pórfido riolítico
	Tm R Riolita
	Tm TR-A Toba riolítica-andesita
	T D Diorita
	Ks Lu-Ar Lutita-arenisca
	Ktc Lu-Cz Lutita-caliza
	Kace Cz Caliza



### CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

#### TOPONIMIA

	Poblado principal
	Poblado secundario
	Área de interés
	Camino secundario
	Terracería
	Carretera fed. 85 Ixmiquilpan-Tasquillo
	Camino Alfajayucan-San Agustín Tlalixticapa
	Carretera fed. 45 Ixmiquilpan-Huichapan
	Carretera est. Chapantongo-Alfajayucan
	Carretera fed. 136 Ixmiquilpan-Yolotepec
	Curvas de nivel
	Cuerpos de agua



PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA Y FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL POBLADO DE SAN AGUSTÍN Tlalixticapa, HIDALGO		PLANO: <b>1</b>
UBICACIÓN:	ALFAJAYUCAN, ESTADO DE HIDALGO	LEVANTO: FMC/HRG
PLANO:	MAPA GEOLÓGICO	FECHA: ABRIL, 2010
ACOTACIONES: INDICADAS		ESCALA: INDICADA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

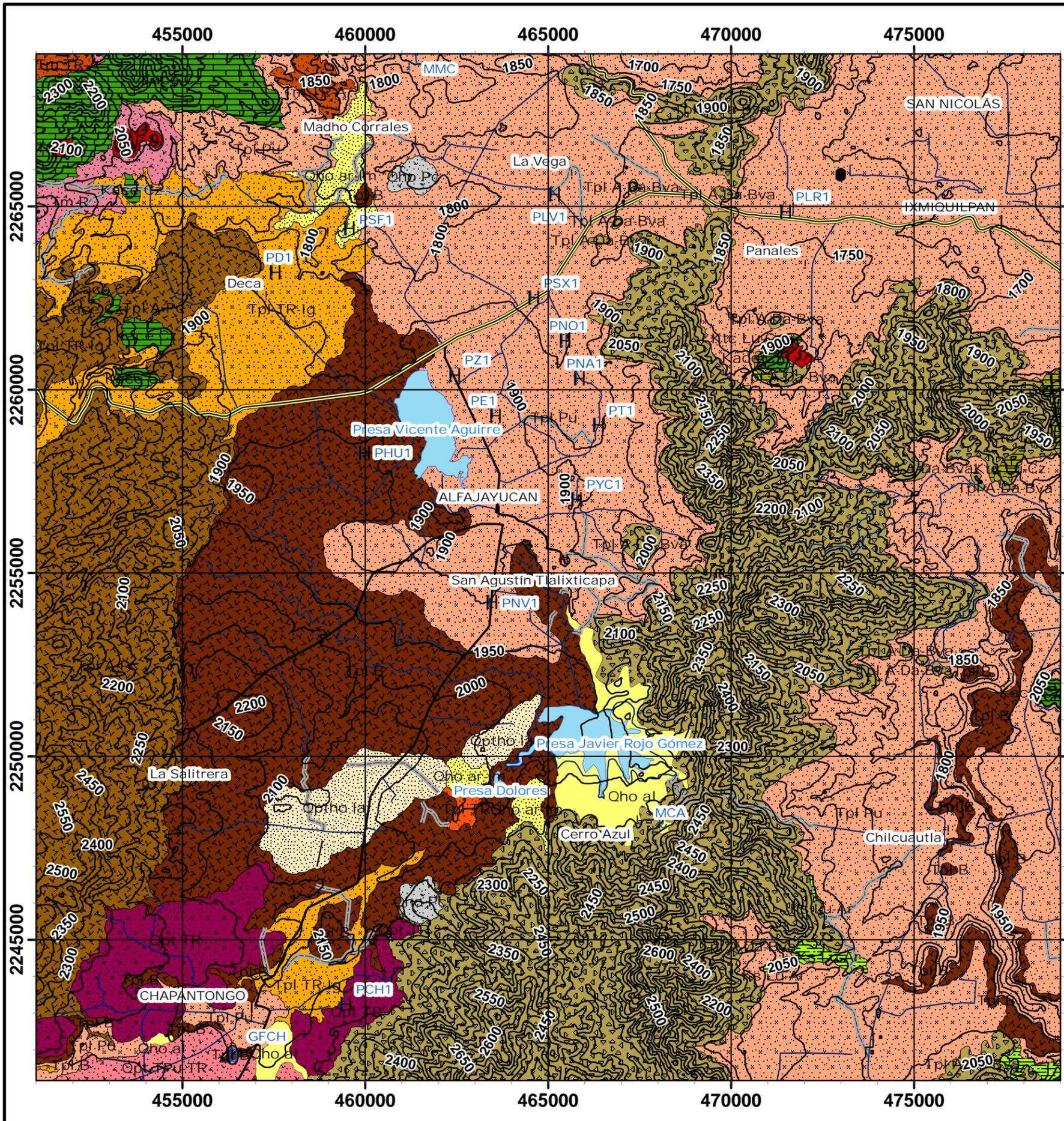


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**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.



### SIMBOLOGÍA

H	Pozo
C	Manantial
⊖	Galería filtrante
↖	Falla inversa
↗	Falla normal
—	Fractura
⊕	Pliegue anticlinal
⊖	Pliegue sinclinal
■	Qho al Aluvión
■	Qho ar-lm Arena-limo
■	Qho Pc Piroclasto
■	Qptho la Depósitos lacustres
■	Qpt TR Toba riolítica
■	Qpt TPu-TR Toba pumítica-toba riolítica
■	Tpl B Basalto
■	Tpl Pu Pumicita
■	Tpl A-Pc Andesita-piroclasto
■	Tpl TR-lg Toba riolítica-ignimbrita
■	Tpl TR Toba riolítica
■	Tpl A-Da-Bva Andesita-dacita-brecha volcánica ácida
■	Tm PR Pórfido riolítico
■	Tm R Riolita
■	Tm TR-A Toba riolítica-andesita
■	T D Diorita
■	Ks Lu-Ar Lutita-arenisca
■	Ktc Lu-Cz Lutita-caliza
■	Kace Cz Caliza



### CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

#### TOPONIMIA

- ! Poblado principal
- ! Poblado secundario
- H Área de interés

- Camino secundario
- Terracería
- Carretera fed. 85 Ixmiquilpan-Tasquillo
- Camino Alfajayucan-San Agustín Tlaxiuticapa
- Carretera fed. 45 Ixmiquilpan-Huichapan
- Carretera est. Chapantongo-Alfajayucan
- Carretera fed. 136 Ixmiquilpan-Yolotepec
- ~ Curvas de nivel
- Cuerpos de agua

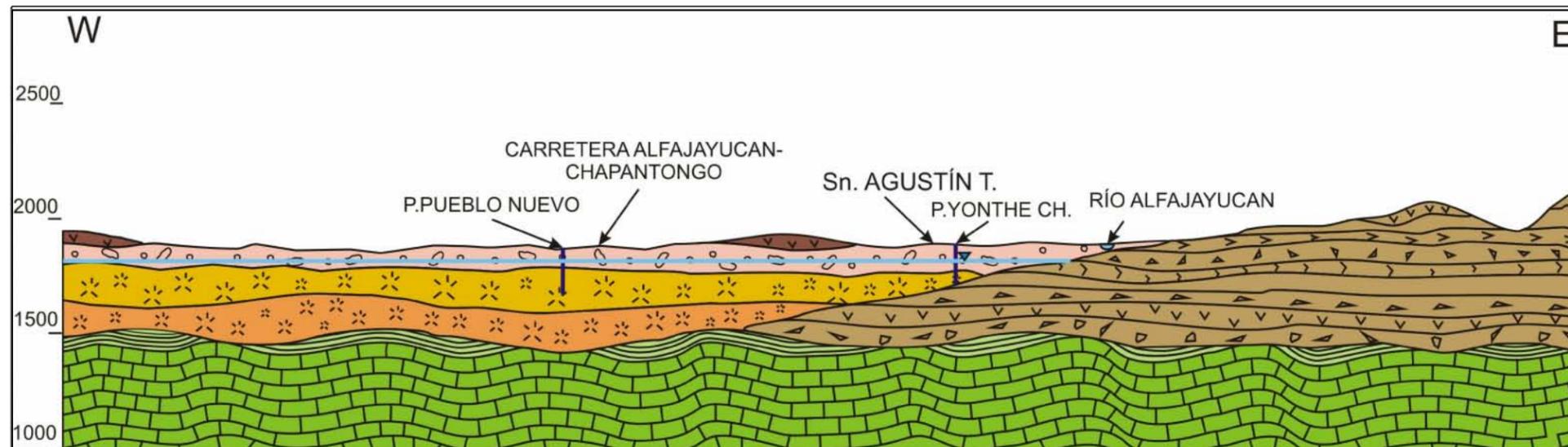
#### ESCALA GRÁFICA

Kilómetros

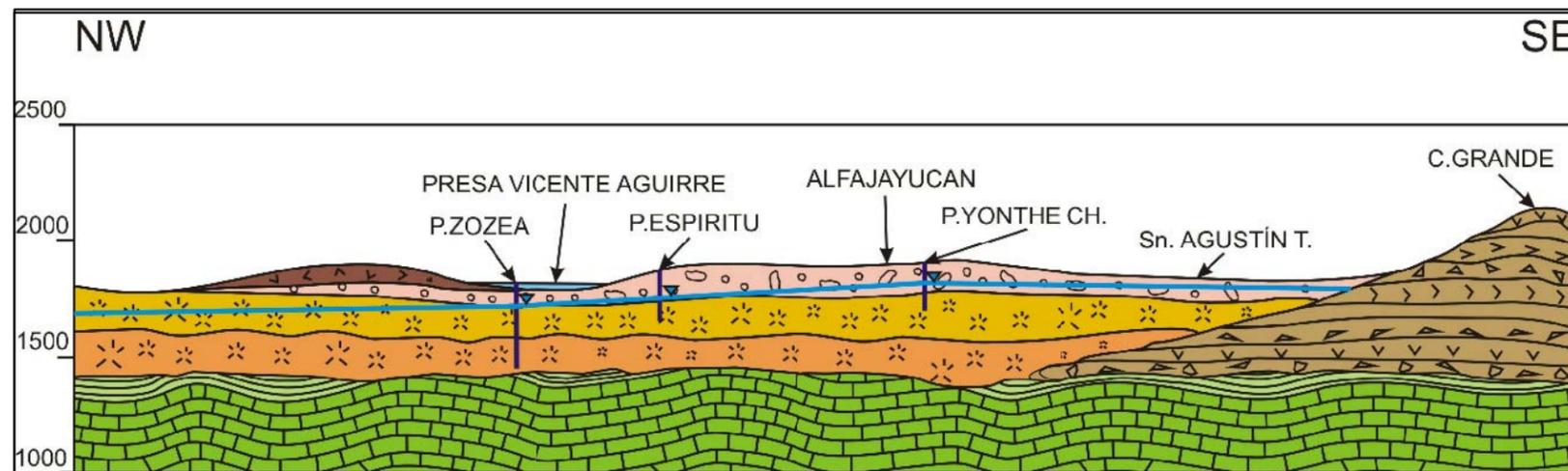
ESCALA 1:118,130

PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA Y FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL POBLADO DE SAN AGUSTÍN TLAXIUTICAPA, HIDALGO		PLANO: <b>2</b>
UBICACIÓN: ALFAJAYUCAN, ESTADO DE HIDALGO	LEVANTO: FMC/HRG	
PLANO: APROVECHAMIENTOS EXISTENTES	FECHA: ABRIL, 2010	
ACOTACIONES: INDICADAS		ESCALA: INDICADA

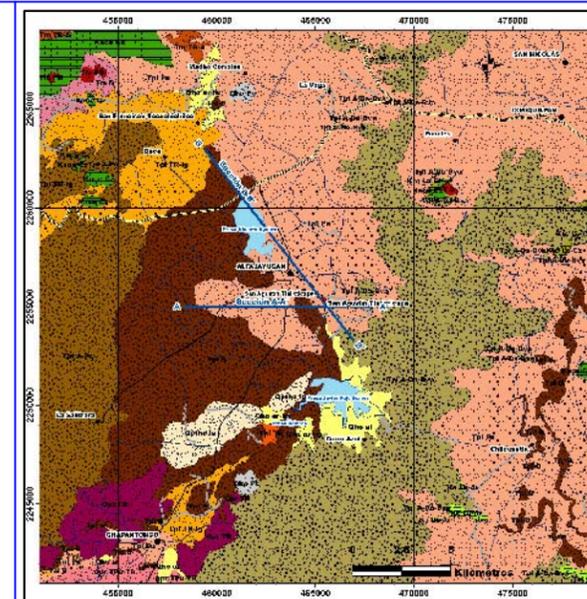
### Sección A - A'



### Sección B - B'



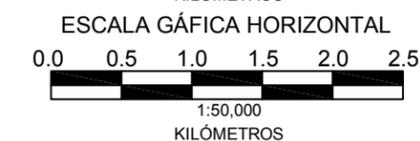
UNIDADES LITOLÓGICAS	
	<b>Derrames basálticos (TplB)</b> Derrames de composición basáltica con fracturamiento
	<b>Depósito piroclásticos pumíticos, flujos andesíticos y basálticos (TpiPa-A-B)</b> Depósito pumítico de caída libre de composición riolítica, en su mayor parte los fragmentos de pómez se encuentran soportados grano a grano
	<b>Toba Huichapan (TpiTR-Ig)</b> Flujos piroclásticos parcialmente soldados, con fenocristales bien formados, orientados, y ligeramente alineados debido a la compactación
	<b>Toba Donguiño (TpiTR)</b> Depósitos de ceniza seudoestratificada, horizontes de oleadas piroclástica y flujos de pumicita poco consolidada
	<b>Derrames andesíticos y brechas volcánicas ácidas (TpiLA-Da-Bva)</b> Secuencias de derrames de composición andesítica ampliamente fracturados, brechas volcánicas ácidas y algunos cuerpos Dioríticos
	<b>Formación Soyatal (KicLu-Ar)</b> Calizas, margas y lutitas en estratificación delgada
	<b>Formación El Doctor (KaceCs)</b> Calizas cristalinas y calizas grainstone, en estratos medianos



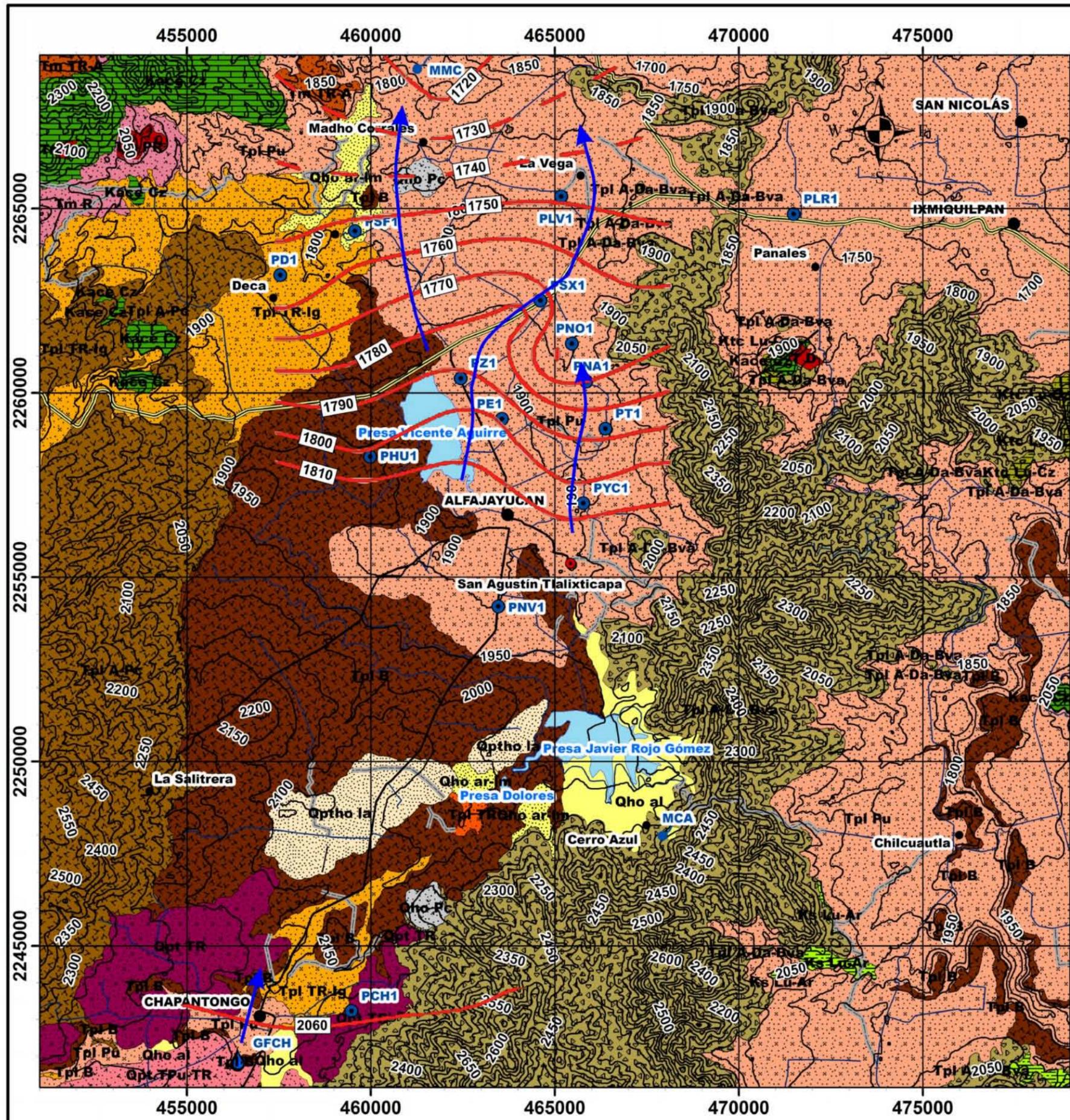
### CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

#### SIMBOLOGÍA

- P.N.E
- Contacto geológico
- Pozo
- Poblado o punto de referencia ALFAJAYUCAN



PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA Y FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL POBLADO DE SAN AGUSTÍN TLALIXTICAPA, HIDALGO		<b>PLANO 3</b>
UBICACION:	ALFAJAYUCAN, EDO. DE HIDALGO	LEVANTO: FMC / HRG
PLANO:	SECCIONES GEOLOGICAS	FECHA: ENERO, 2010
		ACOTACIONES: INDICADAS
		ESCALA: INDICADA



### SIMBOLOGÍA

- Pozo
- Manantial
- Galería filtrante
- Falla inversa
- Falla normal
- Fractura
- Pliegue anticlinal
- Pliegue sinclinal
- Qho al Aluvión
- Qho ar-lm Arena-limo
- Qho Pc Piroclasto
- Qptho la Depósitos lacustres
- Qpt TR Toba riolítica
- Qpt TPU-TR Toba pumítica-toba riolítica
- Tpl B Basalto
- Tpl Pu Pumicita
- Tpl A-Pc Andesita-piroclasto
- Tpl TR-Ig Toba riolítica-ignimbrita
- Tpl TR Toba riolítica
- Tpl A-Da-Bva Andesita-dacita-brecha volcánica ácida
- Tm PR Pórfido riolítico
- Tm R Riolita
- Tm TR-A Toba riolítica-andesita
- T D Diorita
- Ks Lu-Ar Lutita-arenisca
- Ktc Lu-Cz Lutita-caliza
- Kace Cz Caliza

- Curva de igual carga hidráulica en m.s.n.m.
- Curva inferida
- Red de flujo subterráneo



### CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

#### TOPONIMIA

- Poblado principal
- Poblado secundario
- Área de interés
- Camino secundario
- Terracería
- Carretera fed. 85 Ixmiquilpan-Tasquillo
- Camino Alfajayucan-San Agustín Tlaxiátlca
- Carretera fed. 45 Ixmiquilpan-Huichapan
- Carretera est. Chapantongo-Alfajayucan
- Carretera fed. 136 Ixmiquilpan-Yolotepec
- Curvas de nivel
- Cuerpos de agua

#### ESCALA GRÁFICA



**Kilómetros**  
ESCALA 1:118,130

PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA Y FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL POBLADO DE SAN AGUSTÍN TLAXIÁTLCA, HIDALGO		PLANO: 4
UBICACIÓN: ALFAJAYUCAN, ESTADO DE HIDALGO	LEVANTO: FMC/HRG	
PLANO: RED DE FLUJO SUBTERRÁNEO	FECHA: ABRIL, 2010	
ACOTACIONES INDICADAS		
ESCALA INDICADA		