

Documento técnico
2019-1



ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO DE POZOS DE AGUA PARA LOS MUNICIPIOS DE LA MANCOMUNIDAD GRAN CIUDAD DEL SUR

**AMATITLÁN, MIXCO, SAN MIGUEL PETAPA, SANTA
CATARINA PINULA, VILLA CANALES Y VILLA NUEVA,
GUATEMALA AÑO 2018**

Guatemala, marzo 2019

Autor

Luis Eduardo Barales Cabrera

Revisión y Asistencia Técnica

Inga. Nadya Recinos, MSc. – FUNCAGUA

Diseño y diagramación

Licda. Vanessa Paiz, Wilmer Fallas

Edición

Dra. María José Iturbide-Chang

En colaboración con:

Mancomunidad Gran Ciudad Del Sur - MGCS

Guatemala, marzo 2019

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a las personas que apoyaron la elaboración de este estudio. En especial a:

Municipalidad de Amatitlán: Mara Marroquín (Alcaldesa), Ing. Rony Hernández Gatica, Edder Pérez (fontanero), **Municipalidad de Mixco:** Neto Bran (Alcalde), Ing. Danilo Guerra, Carlos Hernández (fontanero), Luis Ruiz (fontanero), Moisés Gravé (fontanero), **Municipalidad de Santa Catarina Pinula:** Lic. Victor Alvarizaes (Alcalde), Ing. Rodrigo Castilla, **Municipalidad de San Miguel Petapa:** Lic. Luis Reyes (Alcalde), Ing. Maynor Quiñones, Ing. Daniel Vázquez, **Municipalidad de Villa Canales:** Ing. Julio Marroquín (Alcalde), Ing. Joel Zamora, **Municipalidad de Villa Nueva:** Ing. Edwin Escobar (Alcalde), Ing. Marvin Fuentes, Ing. Edgar Pérez, Ing. Carlos Saravia, Helder González (fontanero), Juan de León (fontanero), Arnulfo Morales (fontanero), **Mancomunidad Gran Ciudad del Sur - MGCS:** Ing. Gerson Barrios, Ing. Thomas Henry, Ing. Edgar Lobos, **Fundación para la conservación del agua de la Región Metropolitana de Guatemala - FUNCAGUA:** Inga. Nadya Recinos (Coordinadora Técnica), Dra. Maria Jose Iturbide-Chang (Directora Ejecutiva)

Como citar el documento:

FUNCAGUA. (2019). Análisis piezométrico de pozos de agua para los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa canales y Villa Nueva, Guatemala. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA). Guatemala.

Acrónimos

MGCS	Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
QGIS	Quantum Geographical Information System
INE	Instituto Nacional de Estadística
FUNCAGUA	Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala
SIG	Sistemas de Información Geográfico
RMG	Región Metropolitana de Guatemala
MSNM	MSNM Metros Sobre el nivel del mar

Cuadro de colores para perfiles

-  Terreno natural 2018
-  Nivel estático 1978
-  Nivel estático 2018 época lluviosa
-  Nivel estático 2018 época seca
-  Nivel dinámico 2018 época lluviosa
-  Nivel dinámico 2018 época seca
-  Fondo de los pozos 2018

CONTENIDO

i. Presentación	11
ii. Resumen	12
iii. Summary	13
iv. Antecedentes de la FUNCAGUA	15
1. Introducción y objetivos del estudio	16
2. Marco teórico y antecedentes	18
3. Marco metodológico	25
4. Resultados: Redes de flujo del territorio que comprende Mancomunidad Gran Ciudad del Sur monitoreo realizado durante las épocas seca y lluviosa de 2018	23
4.1. Registro histórico y actual de los niveles de agua subterránea en los pozos de los municipios que pertenecen a mancomunidad gran ciudad del sur	23
4.2. Situación del flujo de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán	30
4.2.1. Redes de flujo de Amatitlán	30
4.3. Situación del flujo de aguas subterráneas del municipio de Mixco	33
4.3.1. Redes de flujo de Mixco	34
4.4. Situación del flujo de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula	37
4.4.1. Redes de flujo de Santa Catarina Pinula	37
4.5. Situación del flujo de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa	41

4.5.1. Redes de flujo de San Miguel Petapa	41
4.6. Situación del flujo de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales	45
4.6.1. Redes de flujo de Villa Canales	45
4.7. Situación del flujo de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva	48
4.7.1. Redes de flujo de Villa Nueva	48
5. Conclusiones y recomendaciones	52
6. Referencias bibliográficas	54
7. Glosario	55
8. Anexos	59

LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 3-1. Precipitación promedio mensual en el 2018.	21
Imagen 4-1. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978.	24
Imagen 4-2. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca).	25
Imagen 4-3. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca).	26
Imagen 4-4. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época lluviosa).	27
Imagen 4-5. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa).	27
Imagen 4-6. Ubicación de perfiles generales de distribución de parámetros monitoreados	28
Imagen 4-7. Perfil 1, municipios de Mixco, Villa Nueva y Amatitlán.	28
Imagen 4-8. Perfil 2, municipios de Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa y Villa Canales.	29
Imagen 4-9. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Amatitlán.	30
Imagen 4-10. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época seca) de Amatitlán.	31
Imagen 4-11. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Amatitlán.	31
Imagen 4-12. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de Amatitlán.	32
Imagen 4-13. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Amatitlán.	32
Imagen 4-14. Perfil del municipio de Amatitlán.	33
Imagen 4-15. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Mixco.	34
Imagen 4-16. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de Mixco.	34
Imagen 4-17. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Mixco.	35

Imagen 4-18. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de Mixco.	35
Imagen 4-19. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Mixco.	35
Imagen 4-20. Ubicación de perfiles de distribución de parámetros monitoreados municipio de Mixco	36
Imagen 4-21. Perfil 1 del municipio de Mixco.	36
Imagen 4-22. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Santa Catarina Pinula.	38
Imagen 4-23. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época seca) de Santa Catarina Pinula.	38
Imagen 4-24. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Santa Catarina Pinula.	38
Imagen 4-25. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de Santa Catarina Pinula.	39
Imagen 4-26. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Santa Catarina Pinula.	39
Imagen 4-27. Ubicación de Perfiles del municipio de Santa Catarina Pinula.	39
Imagen 4-28. Perfil 1 del municipio de Santa Catarina Pinula.	40
Imagen 4-29. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 1978 de San Miguel Petapa.	42
Imagen 4-30. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de San Miguel Petapa.	42
Imagen 4-31. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de San Miguel Petapa.	43
Imagen 4-32. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de San Miguel Petapa.	43
Imagen 4-33. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de San Miguel Petapa.	43

Imagen 4-34. Ubicación de Perfiles del municipio de San Miguel Petapa	43
Imagen 4-35. Perfil 1 del municipio de San Miguel Petapa.	44
Imagen 4-36. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Villa Canales.	45
Imagen 4-37. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de Villa Canales.	46
Imagen 4-38. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Villa Canales.	46
Imagen 4-39. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Canales.	46
Imagen 4-40. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Canales.	47
Imagen 4-41. Ubicación de Perfiles del municipio de Villa Canales.	47
Imagen 4-42. Perfil 1 del municipio de Villa Canales.	47
Imagen 4-43. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Villa Nueva.	48
Imagen 4-44. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de Villa Nueva.	49
Imagen 4-45. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Villa Nueva.	49
Imagen 4-46. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Nueva.	49
Imagen 4-47 Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Nueva.	50
Imagen 4-48. Ubicación de Perfiles del municipio de Villa Nueva	50
Imagen 4-49. Perfil 1 del municipio de Villa Nueva.	50
Imagen 7-1. Esquema general de un pozo.	56
Imagen 7-2. Diagrama de redes de flujo de agua subterránea.	57



i. PRESENTACIÓN

El agua en la RMG tiene muchas presiones debido a la alta demanda del recurso por el aumento poblacional, la deforestación de cuencas hidrográficas que ocasionan mayor escurrimiento superficial y menor infiltración en el suelo, impermeabilización de terrenos por construcción y urbanización de áreas, sobreexplotación de acuíferos por entes públicos y privados y falta de normativa y monitoreo sobre la utilización de los recursos hídricos y otros factores como el cambio climático que ponen en riesgo la disponibilidad de este vital recurso.

Sin embargo, hoy en día la situación del agua en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) es poco conocida ya que no existe información disponible o actualizada, y en general la que se tiene está dispersa y poco accesible. Es por ello que en la Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana (FUNCAGUA) nos hemos propuesto generar información estratégica que contribuya a la mejor administración de este vital recurso.

La FUNCAGUA, como fondo de agua, basa sus acciones en ciencia, ya que consideramos que es necesario y urgente realizar acciones

con impactos reales. Dentro de nuestros ejes estratégicos de acción está el de investigación y monitoreo tanto de calidad como de la cantidad del recurso. Es importante conocer el estado del recurso que tratamos de conservar para el presente y que por medio de acciones concretas y colectivas podremos asegurar su disponibilidad para las próximas generaciones.

El presente estudio representa un primer esfuerzo para conocer la situación del agua en seis municipios de la RMG, municipios que se han unido para coordinar acciones y que han establecido el ente legal de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Los municipios que integran la Mancomunidad son: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva.

Los resultados que aquí se presentan son de vital importancia para orientar acciones de conservación, para proponer nuevas disposiciones municipales en cuanto a los proyectos de construcción tanto municipales.

Atentamente,

Dra. María José Iturbide-Chang
Directora Ejecutiva
FUNCAGUA

ii. RESUMEN

Los seres humanos al igual que todos los seres vivos hacen uso del agua para subsistir. Este recurso lo obtienen a través de diferentes medios, desde llenar un recipiente por medio del grifo en casa, lo cual es una de las formas más comunes, o por medios más técnicos como sistemas de almacenamiento de agua de lluvias, obtención de agua de ríos o lagos y su tratamiento para la distribución a distintas comunidades de la localidad. Una de las fuentes de agua menos reconocidas pero muy explotada en el medio es el agua subterránea. Este estudio se enfoca específicamente en mediciones de los niveles nivel estático y dinámico de aguas subterráneas como fuente de abastecimiento para los municipios de Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, siendo los municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS).

En el año 1978 se realizó en Guatemala un estudio a nivel del departamento de Guatemala, titulado “Estudio de aguas subterráneas en Guatemala”, el cual fue elaborado con el objeto de conocer la situación del recurso hídrico subterráneo en aquel momento, y como esto afectaba a la población, el sector industrial, la ganadería,

etc. de acuerdo a su explotación, este estudio es utilizado en el presente documento como la línea base para la comparación de la situación del recurso hídrico respecto a los resultados del presente.

La Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA), es un fondo de agua que tiene como principal objetivo acciones que promuevan la protección del agua, especialmente dentro de la Región Metropolitana de Guatemala. Dentro de las acciones que promueve la FUNCAGUA está el monitoreo de mantos acuíferos para proveer de información relevante a los tomadores de decisión y poder así, tomar acciones para una eficiente gestión del recurso.

Considerando lo anterior, el presente estudio es un análisis comparativo entre los niveles piezométricos registrados en el estudio de referencia, para el año 1978 en contraste con los niveles piezométricos estáticos y dinámicos del monitoreo realizado para el año 2018 tanto en época seca (abril, mayo y junio), como en época lluviosa (octubre, noviembre y diciembre).

iii. SUMMARY

Humans, like all living beings, use water to survive. This resource is obtained through different means, from filling a container by means of the tap at home, which is one of the most common forms, or by technical means such as rainwater storage systems, obtaining water from rivers or lakes and their treatment for distribution to different communities in the locality. One of the least recognized sources of water but very exploited is the groundwater. This study focuses specifically on measurements of static and dynamic levels of groundwater as a source of supply for the municipalities of Amatitlan, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales and Villa Nueva, being the municipalities that make up the Municipal Association of the Great Southern City (MGCS).

In 1978, a study was carried out at the level of the department of Guatemala, entitled "Groundwater study of Guatemala", which was elaborated with the main purpose of identify the situation of the groundwater resources at that moment, and how this disponibility affected to the population, the

industrial sector, livestock, etc. According to its exploitation in 1978, this study is the baseline for the development of this research which shows the underground behaviour for the last 40 years.

The Foundation for the Conservation of Water of the Metropolitan Region of Guatemala (FUNCAGUA), is a water fund whose main objective is to promote actions toward water protection, especially within the Metropolitan Region of Guatemala (RMG). Among the actions promoted by FUNCAGUA is the monitoring of aquifers to provide relevant information to decision makers and thus be able to take actions for efficient management of the resource.

Considering the above, the present study is a comparative analysis between the piezometric levels registered in the reference study, for the year 1978 in contrast to the static and dynamic piezometric levels of the monitoring carried out for the year 2018 both in the dry season (April, May and June), as in the rainy season (October, November and December).



iv. ANTECEDENTES DE LA FUNCAGUA

La Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana- (FUNCAGUA), es un fondo de agua que inició su proceso de constitución en el año 2011. En sí, los Fondos de Agua son organizaciones que diseñan e impulsan mecanismos financieros y de gobernanza articulando actores públicos, privados y de la sociedad civil con el fin de contribuir a la seguridad hídrica y al manejo sustentable de la cuenca a través de soluciones basadas en la naturaleza.

Para lograr esto, ellos:

- a. Aportan evidencia científica que contribuye a mejorar el conocimiento sobre la seguridad hídrica;
- b. Desarrollan una visión compartida y accionable de Seguridad Hídrica;
- c. Convocan a distintos actores que mediante la acción colectiva promueven la voluntad política necesaria para lograr impactos significativos, positivos y de magnitud;
- d. Influyen positivamente la gobernanza del agua y los procesos de toma de decisión;
- e. Promueven e impulsan la implementación de proyectos de infraestructura natural y otros proyectos innovadores en las cuencas;
- f. Ofrecen un vehículo atractivo para invertir recursos de manera costo-eficiente en las fuentes de agua de las cuencas.

FUNCAGUA forma parte del grupo de Fondos de Agua apoyados por la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, un acuerdo entre el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Fundación FEMSA, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM-GEF) y The Nature Conservancy (TNC) con el fin de contribuir a la seguridad hídrica de América Latina y el Caribe a través de la creación y fortalecimiento de Fondos de Agua. Actualmente existen 23 Fondos de Agua con presencia en 8 países de la región.

Como Fondo de Agua, la FUNCAGUA se enfoca en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) que contempla los siguientes municipios: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales, Villa Nueva, Guatemala, Chinautla, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, Fraijanes y San José Pinula. Los objetivos que tiene la FUNCAGUA son:

- Mejorar la Recarga potencial de los acuíferos en la RMG
- Reducir la escorrentía y deslizamientos por eventos hidrometeorológicos extremos
- Generar una mayor sensibilización y educación entre los distintos usuarios del agua en torno a la problemática asociada y las posibles soluciones
- Mejorar la capacidad de gestión de recursos financieros a favor de la conservación del agua en la región metropolitana
- Monitorear el entorno vinculado a la gestión integral del agua en la RMG.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El agua subterránea es una de las fuentes de abastecimiento más explotada en la región metropolitana de Guatemala; dada la importancia de su manejo, se ha realizado una campaña de medición de niveles piezométricos estáticos y dinámicos durante las épocas seca (abril a junio) y lluviosa (octubre a diciembre), con el objeto de construir una tendencia de la distribución de líneas de flujo en el territorio comprendido por los municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS).

En el presente informe se muestra la dinámica que han sufrido los niveles piezométricos de la zona monitoreada de la MGCS y cómo se han comportado las líneas de flujo del agua subterránea en los últimos cuarenta años, especialmente en el área de los municipios de Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva. Estos municipios forman parte de la MGCS del Departamento de Guatemala, entidad creada desde el 02 de agosto de 2012 cuando se firmó el Acta de su Constitución. La extensión territorial de los seis municipios en conjunto es de aproximadamente 650.60 km² y su población aproximada en 2018 es de 1,649,676 habitantes. Cabe mencionar que la única municipalidad que cuenta con el equipo para realizar el estudio de los niveles dinámicos y estáticos de agua del agua subterránea es la municipalidad de Santa Catarina Pinula, por lo cual es una municipalidad que si ha monitoreado su recurso hídrico constantemente. El resto de las municipalidades únicamente poseen información histórica de los niveles de agua subterránea desactualizada ya que estos niveles solo han sido tomados cuando se han presentado fallos en el funcionamiento de los pozos y se le ha dado mantenimiento.

Se presenta adicionalmente un análisis general, de la situación del agua subterránea para los municipios, lo cual proporcionará información necesaria para debatir aspectos del manejo integral del recurso en un panorama general. El estudio comprende también un análisis por municipio, en el cual se muestra el estado individual de los niveles piezométricos de agua subterránea en los pozos mecánicos monitoreados, a nivel de perfil y la distribución de los mismos a nivel de planta en un diagrama de líneas de flujo por municipio para ambos periodos predominantes, época seca y época lluviosa.

Como parte de este proceso de trabajo, se ha implementado la georreferenciación y la digitalización de infraestructura existente de pozos de agua para consumo humano en los municipios en mención. Sin embargo, es necesario analizar toda la información disponible y en caso de ser necesario generar nueva información con herramientas de información geográfica, fotografías satelitales, sistemas de posicionamiento global (GPS) y orto fotos. Para poder georreferenciar el mapa de la extensión territorial de los municipios y poder ubicar de manera precisa la infraestructura dentro del mismo, se ha utilizado la plataforma libre QGIS, así también se han realizado mediciones de los niveles dinámicos y estáticos con sonda piezométrica.

Considerando lo anterior, el objetivo general del presente estudio consiste en:

“Medir y analizar la dinámica de los niveles estáticos y dinámicos de los pozos que se encuentran ubicados en los municipios de Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva del departamento de Guatemala, en la época seca y época lluviosa del año 2018”.



Municipios pertenecientes a MGCS.

1. Amatitlán / 2. Mixco / 3. Santa Catarina Pinula /
4. San Miguel Petapa / 5. Villa Canales / 6. Villa Nueva

Los objetivos específicos del estudio son:

- i. Generar información de campo actualizada y analizada en gabinete relacionada con los pozos que se utilizan para la provisión de agua para los municipios de Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, del departamento de Guatemala, en época seca y época lluviosa del año 2018.
- ii. Realizar un análisis comparativo de la información histórica de los niveles de agua subterránea de 1978 e información actualizada del 2018.
- iii. Georreferenciar los pozos ubicados dentro de los municipios que se ubican dentro del área que comprende la MGCS.
- iv. Determinar que pozos cuentan con la infraestructura necesaria para realizar el monitoreo de niveles dinámicos y estáticos dentro de los municipios que abarca este estudio.

2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

El monitoreo constante de niveles estáticos y dinámicos de los pozos mecánicos es de suma importancia para conocer el estado actual de aguas subterráneas del territorio y poder planificar así el manejo integral del recurso en pro de satisfacer las necesidades de una comunidad.

Este monitoreo se realiza visitando cada uno de los pozos mecánicos de interés, pudiendo contar cada uno con la línea piezométrica que se utiliza para introducir la sonda medidora de niveles. Estos datos se recolectan periódicamente y pueden ser utilizados para crear una base de datos comparativa que permite conocer el comportamiento o dinámica presente localmente en los pozos mecánicos y extrapolarla espacialmente en el territorio para construir una tendencia del flujo de aguas subterráneas en el territorio.

Claro está, que es necesario realizar comparaciones de situación de agua subterránea en el tiempo, es por ello que información histórica relevante al respecto es importante tomarse en cuenta para construir una línea base y poder partir de allí en el análisis comparativo.

Para el presente estudio se ha utilizado información recopilada del documento **“Informe Final del Proyecto Estudio de Aguas Subterráneas en Guatemala”** publicado por INSIVUMEH en 1978, el cual tiene aportes valiosos a la descripción hidrogeológica del Valle de Guatemala.

Muñoz (1998) y Herrera (2002) exponen que los factores más importantes que definen las zonas de recarga hídrica son, los geológicos, geomorfológicos, hidro-meteorológicos y la cobertura vegetal, por ser factores directamente relacionados al transporte de agua desde la superficie a los mantos freáticos.

Según la clasificación de sus estratos y período de evolución, los acuíferos de la Región Metropolitana de Guatemala se dividen en tres grupos en términos del tipo de formación geológica que los constituye:

- Acuífero constituido por relleno volcánico cuaternario (Sur): aluviones fluviales cuaternarios (gravas, arenas, limos y arcillas) cuyo material ha sido erosionado, acarreado y vuelto a depositar mecánicamente por una corriente de agua, formando lechos, capas o estratos sedimentarios. Depósitos volcánicos cuaternarios, formados por una gran acumulación de fragmentos de rocas resultantes depositadas por distintas erupciones, de ceniza y diversos flujos de lava (relleno piro clástico). Sedimentos fluido-lacustres cuaternarios, se encuentran distribuidos dentro de los flujos de lava y los depósitos de caída de ceniza, se ubican al Sur de la divisoria continental de aguas, cerca de Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y Amatitlán.
- Acuífero constituido por andesita fracturada, sedimentos fluviales y lavas volcánicas del terciario. (valle de la ciudad capital): Lavas volcánicas del terciario son lavas coladas de variada composición mineralógica generalmente fracturadas (andesitas, riolitas y basaltos).
- Acuífero constituido por calizas del cretácico, las cuales tienen diferentes niveles de aguas subterráneas (Norte): calizas del cretácico se encuentran localizadas en la región Norte de la cuenca del río Las Vacas (metamórficas). Los afloramientos existentes muestran una intensa fracturación y en algunos casos presentan indicios de karstificación. (Chuo, 1995)

Las aguas subterráneas constituyen parte del ciclo hidrológico y son aguas que fluyen a través de estratos geológicos capaces de contenerlas y de permitir su movimiento. El espesor de la zona de saturación varía de acuerdo con diferentes factores como la geología local, la presencia de poros o vacíos en las formaciones, así como la tasa de recarga y el movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

Debido a que el agua de lluvia llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación de corrientes y lagos, la percolación directa es el proceso más significativo en la recarga del agua subterránea cuando se trata de suelos altamente permeables o donde la capa freática está cerca de la superficie del terreno.

En base al uso del agua subterránea presente en la zona, se distinguen principalmente dos acuíferos en la RMG, el superior y el inferior; los cuales por sus características geológicas tienen buena conexión hidráulica entre sí, sin embargo, se han logrado distinguir dos acuíferos importantes el superior y el inferior.

El acuífero superior se encuentra constituido por potentes depósitos cuaternarios de piroclastos pomáceos compactos hasta sueltos, mal clasificados y mal estratificados, en los cuales existen localmente intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres, paleosuelos y lavas. Se han incluido dentro del acuífero superior los sedimentos aluviales depositados en la parte media e inferior de los valles de los ríos Villalobos, Pinula y Las Minas.

El agua subterránea contenida en el acuífero superior se encuentra en su mayor parte bajo condiciones libres o freáticas. En los piroclastos pomáceos el confinamiento está provocado por la intercalación de sedimentos lacustres finos y

horizontales con abundante ceniza pumítica y polvo volcánico algo descompuesto (INSIVUMEH et al., 1978).

En total los piroclastos ocupan en el área extensa de la RMG, con espesores en la parte central del área del valle, donde generalmente sobrepasa los 200 metros, con tendencia a disminuir en los extremos. La granulometría de los piroclastos disminuye de sur a norte, éstos están saturados en un promedio de 38 metros (Coló, 2014).

Los sedimentos aluviales y los depósitos piroclásticos que conforman el acuífero superior, descansan en gran parte del área primordialmente sobre lavas andesíticas y tobas vítricas soldadas terciarias, y en pocos lugares sobre calizas y granitos cretácicos, que forman el **acuífero inferior**, que, por sus características de permeabilidad secundaria, extensión y espesor por fracturación y figuración, constituye el principal acuífero del área.

Los afloramientos de lava ocupan un área de aproximadamente 84 km², siendo esporádicos en los extremos este y oeste del valle de Guatemala y continuos en la margen norte y sur del lago de Amatitlán. El espesor total de las lavas y tobas terciarias no es conocido, pero con información obtenida de algunas perforaciones, al parecer es mayor de 220 metros, estando saturadas aproximadamente en los primeros 200 metros.

El acuífero inferior se encuentra también bajo condiciones libres y de semiconfinamiento, lo cual se debe principalmente a que sobre este acuífero yacen los piroclastos pomáceos compactos y en menor grado sedimentos aluviales, los cuales tienen una permeabilidad más baja que las lavas fracturadas del acuífero (INSIVUMEH et al., 1978).

La dirección de flujo subterráneo de la región metropolitana de Guatemala, de acuerdo con lo señalado en el estudio realizado por INSIVUMEH, IGN, ONU, en 1978, tiene el sentido de escurrimiento del agua subterránea en la cuenca sur desde los extremos oriental y occidental de la cuenca y desde la divisoria continental hacia el Lago de Amatitlán. Parte de las aguas subterráneas que se generan en la falda oriental del Volcán de Agua y en la falda occidental del Volcán Pacaya sí como descarga subterránea del Lago de Amatitlán fluyen en dirección del valle del Río Michatoya.

El sentido de escurrimiento del agua subterránea en la cuenca norte es desde la divisoria continental de aguas y de los extremos este y oeste de la cuenca en dirección del río Las Vacas.

Esta información y datos obtenidos del mismo estudio permitieron construir en forma digital modelos de referencia de la distribución de aguas subterráneas para el año 1978 y compararlas con datos recolectados durante el año 2018 para entender la dinámica presente ocurrida en las aguas subterráneas del territorio de interés en los últimos 40 años.

3. MARCO METODOLÓGICO

Monitoreo de niveles estáticos y dinámicos de los pozos mecánicos.

Como parte de la recolección de información para el presente estudio en la época seca se realizó la visita a 180 pozos mecánicos de los cuales 91 fueron utilizados para hacer un muestreo de los niveles tanto dinámicos como estáticos. Los restantes 89 pozos no contaban con condiciones mínimas para la medición de niveles careciendo de piezómetro instalado y en buen estado, fácil acceso a los piezómetros, equipo de bombeo en funcionamiento, permisos a localidades privadas donde hay pozos municipales, entre otras características. En cuanto a la época lluviosa se visitaron 233 pozos, de los cuales 134 fueron monitoreados y 99 pozos no cumplían con las condiciones mínimas para la medición mencionadas con anterioridad.

El monitoreo de los pozos se llevó a cabo durante las épocas seca, meses de abril a junio, y lluviosa, meses de octubre a diciembre del año 2018, que se corresponde a la finalización de períodos seco y lluvioso predominantes del año climatológico presente respectivamente. La distribución mensual de precipitación dentro del territorio durante el año 2018 puede observarse en el gráfico (3-1)

Para el monitoreo se utilizó una sonda de nivel electrónico. Este dispositivo consiste en un equipo que cuenta con señal luminosa y acústica, que se activan cuando la punta de la sonda entra en contacto con el agua que se encuentra dentro del piezómetro. La sonda puede ser de

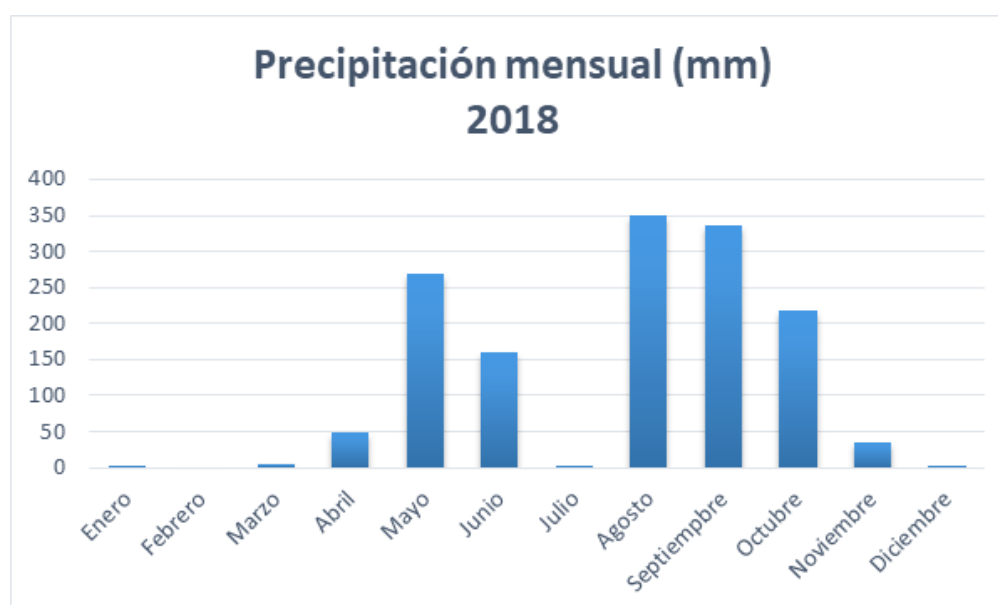


Imagen 3-1. Precipitación promedio mensual en el 2018

Fuente: Elaboración Propia con datos de estación Florencia, Anacafé, 2018.

diferentes longitudes y esta graduada en cm con dm numerados para tomar la medida del nivel del agua. La sonda utilizada para este monitoreo es de 500 metros de longitud.

La lectura de niveles en pozos mecánicos se realiza de forma individual (por pozo) y se obtiene por medio de una entrevista a la persona encargada del pozo ubicado en la localidad. La información que se recolecta consiste en el nombre del pozo, su dirección, lugares a los que el pozo otorga agua, entre otros datos, los cuales se pueden ver en anexos.

La lectura de los niveles dinámicos y estáticos de los pozos se da al introducir la sonda electrónica para pozos dentro del piezómetro instalado en el pozo. Cuando la punta de la sonda hace contacto con el agua se activa la señal acústica y luminosa, entonces se toma la medida de la profundidad a la que se encuentra el agua, determinando así el nivel de esta. Cabe resaltar que cuando el equipo de los pozos se encuentra encendido y se hace la medición se obtiene el nivel dinámico y cuando se encuentra apagado se obtiene el nivel estático.

Una vez obtenidos los datos por medio de la entrevista y con las lecturas de los niveles piezométricos por medio de la sonda electrónica, se procede a la digitalización de la información, lo cual es un proceso que se puede realizar directamente en una plataforma como QGIS o iniciar en un programa como Excel y luego migrar la información a QGIS.

Debido a la versatilidad que posee Excel para el manejo de datos en filas y columnas se ha optado en este estudio por la segunda opción. Se proponen todos los campos que debe tener la futura tabla de atributos para QGIS y se procede a llenar dicha table. Dentro de los campos más importantes para este estudio se tienen los campos de los niveles estático y dinámico, coordenadas y nombre de pozos; y se procede a digitalizar toda la información obtenida en campo. Cuando la información está

completamente digitalizada se procede a migrar el archivo de Excel a un formato que pueda ser interpretado por QGIS, como por ejemplo el formato (csv.)

A partir de los datos de las coordenadas de los pozos y sus niveles se pueden obtener mapas de calor para identificar la altitud a la que se encuentra los niveles piezométricos respecto a datos como la elevación sobre el nivel del mar como referencia.

También se pueden obtener curvas equipotenciales de los niveles del agua, y a partir de éstas se puede generar la tendencia de líneas de flujo del área y formar las denominadas redes de flujo. Otro de los productos que se pueden extraer de la información digitalizada son perfiles de niveles dinámicos y estáticos, históricos o actuales, de los cuales nos valemos para tomar decisiones igual que de las redes de flujo.

Los perfiles se construyen a partir de la obtención de información registrada de cada pozo. La profundidad del pozo es un dato que debe ser proporcionado por la municipalidad. Los datos obtenidos en campo son la altura en metros sobre el nivel del mar (msnm) que tiene el lugar donde se encuentra el pozo, y los niveles dinámicos y estáticos del pozo que se obtienen por medio de la sonda. Por medio de una serie de operaciones matemáticas y haciendo uso de la herramienta de interpolación, se puede crear un conjunto de datos para cada pozo que pueden proyectarse y crear una distribución del flujo del agua subterránea, basándose en momentos diferentes de la historia, o diferentes condiciones de la medición.

Con la información descrita en el párrafo anterior, es posible realizar análisis comparativos del comportamiento o dinámica sufrida en un período de tiempo dentro del área de interés. En el caso de este estudio se desea comparar niveles del año 1978 respecto a los datos monitoreados en el año 2018 en época seca y época lluviosa.

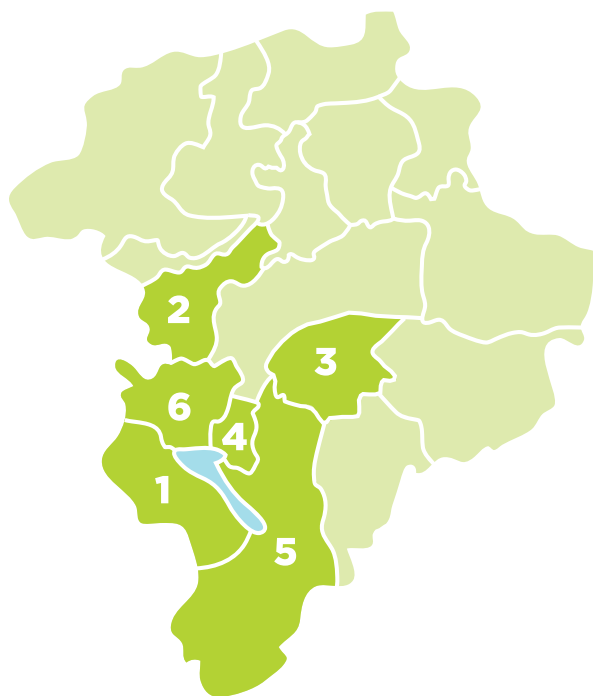
4. RESULTADOS: REDES DE FLUJO DEL TERRITORIO QUE COMPRENDE MANCOMUNIDAD GRAN CIUDAD DEL SUR MONITOREO REALIZADO DURANTE LAS EPOCAS SECA Y LLUVIOSA DE 2018

Debido al constante cambio en el uso de la tierra, se ha provocado en los últimos años una dinámica social y económica en varios de los municipios del Departamento de Guatemala, en especial en los municipios de Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva. Esto ha generado un aumento en la demanda de servicios de agua, motivo por el cual las municipalidades se han visto en la necesidad de perforar cada vez más pozos mecánicos de agua o incrementar la profundidad de la perforación de los pozos existentes.

Lo anterior ha tenido un impacto en la distribución del flujo del agua subterránea dentro de cada municipio en los últimos 40 años y puede ser evidenciado con los resultados del monitoreo de los niveles piezométricos realizados para el año 2018 tanto en los resultados obtenidos en la época seca como en la lluviosa.

Los resultados obtenidos han sido utilizados para analizar el comportamiento de los flujos de agua subterránea en comparación con la información de referencia para el año 1978 el cual comprende un análisis exhaustivo de las condiciones del recurso hídrico subterráneo del departamento de Guatemala presentes para aquel año.

4.1. Registro histórico y actual de los niveles de agua subterránea en los pozos de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur



Municipios pertenecientes a MGCS.

1. Amatitlán / 2. Mixco / 3. Santa Catarina Pinula /
4. San Miguel Petapa / 5. Villa Canales / 6. Villa Nueva

Con la información del estudio histórico se pudieron digitalizar la ubicación de pozos y características físicas de los mismos como profundidad, nivel estático para el año 1978, y luego a través del software QGIS, se realizó una distribución espacial de los datos abarcando el área de interés, los resultados de esta distribución espacial pueden observarse en la imagen 4-1, en la cual se muestra la red de flujo de aguas subterráneas del año 1978 utilizado como línea base o referencia en el análisis comparativo de niveles piezométricos de la región.

Dentro del contexto general de los municipios de Amatitlán, Mixco, Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, se puede observar que el flujo del agua subterránea con los datos recopilados del estudio en mención para el año 1978, se desplazaba desde las zonas donde las líneas equipotenciales van de un nivel más alto a un nivel más bajo, como era de esperarse.

En el caso de Mixco el agua subterránea se desplazaba hacia los cuatro puntos cardinales del municipio y era el mismo caso para Santa Catarina Pinula.

Villa Nueva por su parte recibe agua por parte de Mixco y cede agua a la zona del casco central de Amatitlán.

El municipio de San Miguel Petapa básicamente funciona como medio para transportar agua a Villa Canales y Villa Nueva. Villa Canales por su parte concentra el agua que recibe en su zona norte, más específicamente del área del casco central y en Boca del Monte. Por otro lado, la zona sur del municipio es el medio para llevar agua subterránea a la zona sur del municipio de Amatitlán.

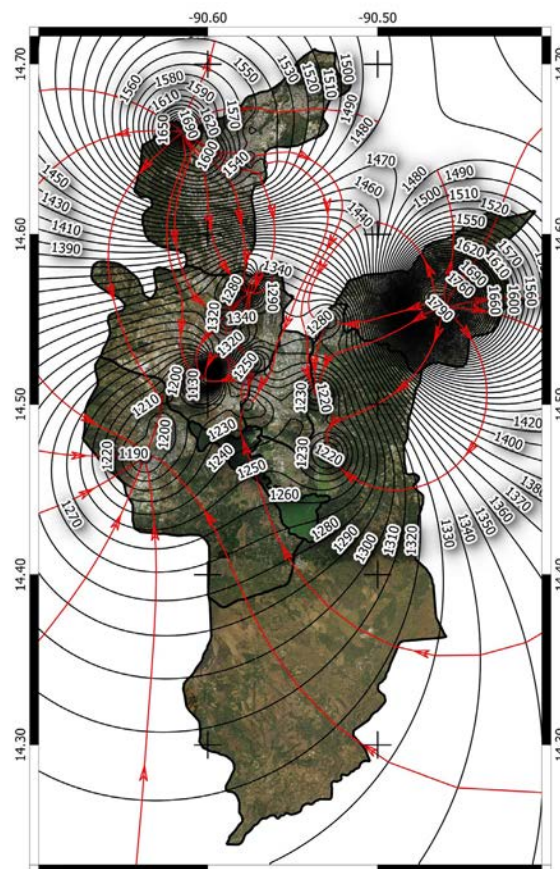


Imagen 4-1. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

El trabajo de campo realizado en el primer semestre de 2018 durante los meses de abril a junio, consistió en registrar 180 pozos de los 6 municipios que pertenecen a MGCS enfatizando en parámetros tales como la ubicación de cada uno de los pozos, incluyendo información de la elevación sobre el nivel del mar de cada uno de los brocales del pozo. Esta información permitió generar la propuesta de la tendencia de dirección de flujo de aguas subterráneas pues es la base para realizar la distribución espacial de los niveles estático parcial y dinámico recolectados.

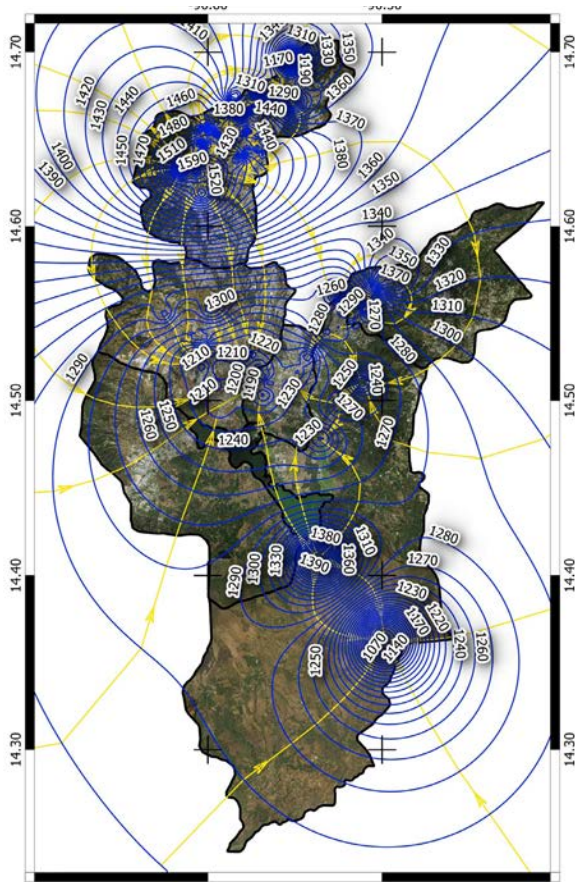


Imagen 4-2. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca).

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Se obtuvo información de niveles estático parcial y dinámico de 91 pozos distribuidos en el área de los municipios que integran la MGCS, y a través del software QGIS, se realizó una distribución espacial de los datos abarcando el área de interés. Los resultados de esta distribución de datos espacial pueden observarse en las imágenes 4-2 y 4-3.

Es importante mencionar que la mayoría de pozos mecánicos municipales operan por períodos extendidos y algunos 24 horas al día, es por ello que los niveles estáticos medidos se tratan de niveles estáticos parciales pues los pozos no pudieron dejar de operar por más de 20 minutos, no siendo posible así dejarlos reposar ni obtener lecturas de niveles estáticos reales.

Como puede observarse en la imagen 4-2 la tendencia del movimiento del agua subterránea de los seis municipios en estudio se desplaza hacia la zona de convergencia entre los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Nueva.

Tomando en consideración que los equipos de bombeo permanecen en operación, se estableció el nivel freático dinámico, para el periodo de lecturas de niveles, obteniendo un modelo del desplazamiento actual del agua a través del subsuelo bajo este régimen, esto puede observarse en la imagen 4-3.

Las imágenes 4-2 y 4-3 muestran la tendencia de distribución del movimiento del agua subterránea en los municipios que comprende la MGCS, tanto en registros durante la época seca de nivel estático parcial y nivel dinámico, en las imágenes puede notarse una distribución muy similar, esto debido a que la mayoría de los pozos mecánicos en la zona funcionan permanentemente sin descanso o periodos de recuperación.

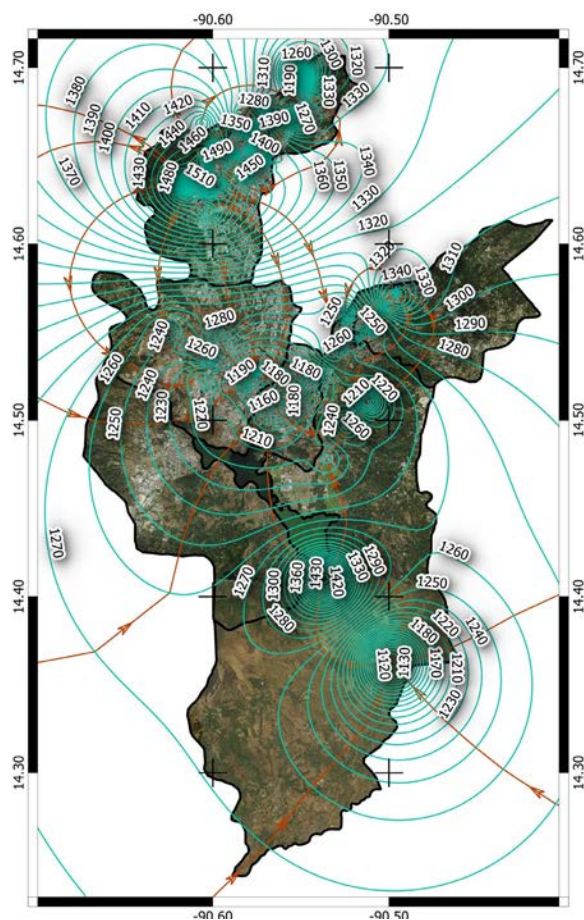


Imagen 4-3. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca).

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Con el objetivo de realizar una comparación entre los períodos climatológicos predominantes, época seca y época lluviosa, y poder identificar si existe algún impacto directo del período lluvioso en el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo de la zona, durante los meses de octubre a diciembre de 2018, se registraron 233 pozos de los 6 municipios que pertenecen a MGCS enfatizando siempre en parámetros tales como la ubicación de cada uno de los pozos, incluyendo información de la elevación sobre el nivel del mar de cada uno de los brocales del pozo.

Se obtuvo información de niveles estático y dinámico de 134 pozos distribuidos en el área, con la cual se realizó una distribución espacial de los datos abarcando el área de interés. Los resultados de esta distribución de datos pueden observarse en las imágenes 4-4 y 4-5.

Tomando en consideración que los equipos de bombeo se encontraban apagados, se estableció el nivel freático estático parcial, obteniendo un modelo del desplazamiento actual del agua subterránea.

Como puede observarse en la imagen 4-4 el agua subterránea de los seis municipios en estudio se desplaza hacia la zona de convergencia de los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales.

Por su parte en la imagen 4-5 puede observarse un modelo de distribución del subterránea bastante parecido al modelo de distribución del nivel estático parcial. Esta imagen representa la distribución de niveles dinámicos medidos cuando los equipos de bombeo se encontraban operando. .

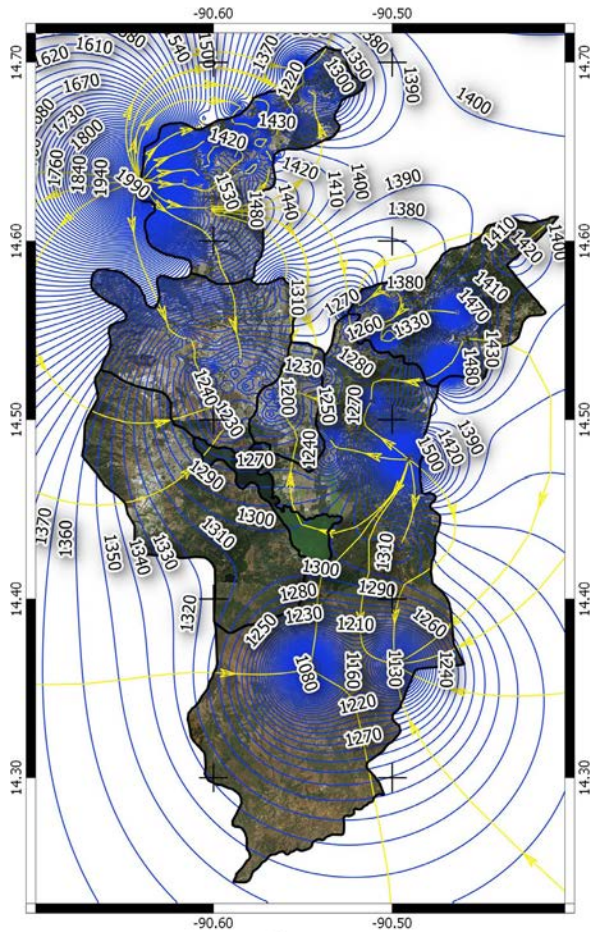


Imagen 4-4. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época lluviosa).

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

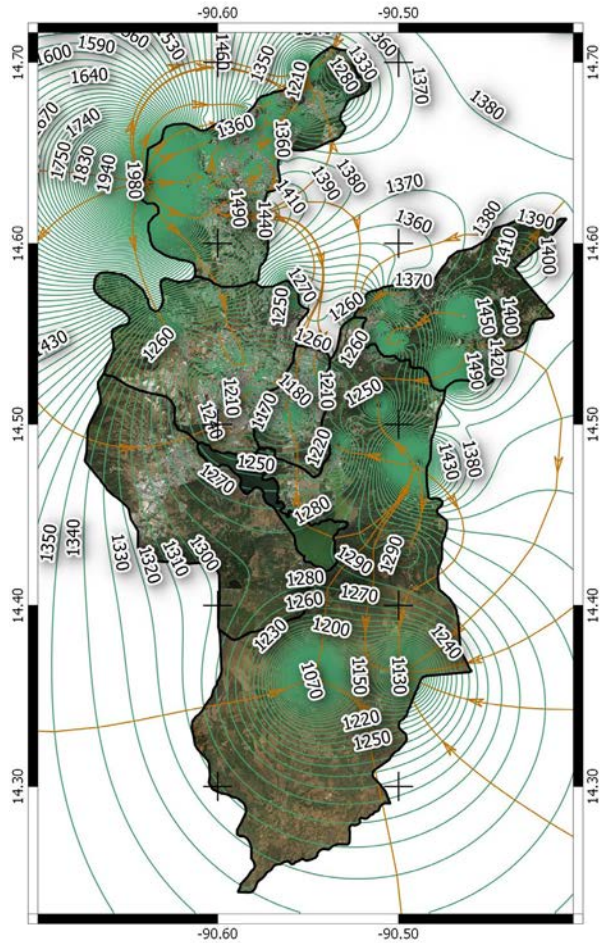


Imagen 4-5. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa).

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Con los modelos de distribución espacial de los niveles de aguas subterráneas registrados tanto para el año 1978 como para el año 2018 (mediciones piezométricas de niveles estáticos parciales y dinámicos realizadas durante las épocas seca y lluviosa del año) se pudo integrar información para obtener la distribución espacial en el área de estudio y así conocer la dinámica

presente en los niveles de agua subterránea en los últimos 40 años, con ello se pudieron construir perfiles transversales sobre la zona en donde se puede observar el comportamiento de varios parámetros recolectados. La ubicación de estos perfiles se encuentra indicada en la imagen 4-6.

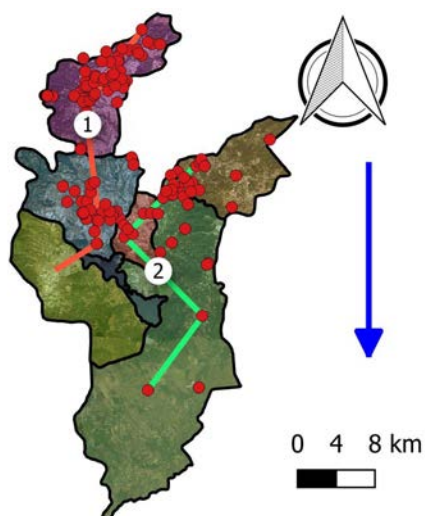


Imagen 4-6. Ubicación de perfiles generales de distribución de parámetros monitoreados.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018.

En los perfiles construidos dentro del área que comprenden de los municipios de estudio se muestran que en algunos lugares ha habido un descenso en el nivel piezométrico de hasta 400m respecto a datos de 1978, como lo es en el caso del área Sacoj Chiquito en el municipio de Mixco, esto debido a la explotación del recurso hídrico para diferentes fines atendiendo la alta demanda del recurso. Con datos de INE del CENSO 2002 y proyecciones a 2016, se estima una tasa anual de crecimiento poblacional de 0.78%) para el municipio de Mixco, (INE, 2016). Este impacto puede observarse en la imagen 4-7, lo cual muestra el comportamiento de las aguas subterráneas de la zona.

Adicionalmente, existen zonas donde la recarga hídrica ha permanecido constante con el pasar del tiempo, como por ejemplo el tramo que existe entre el pozo No. 1 sector Las Vacas y el pozo San José La Laguna, uno de Mixco y el otro de Villa Nueva respectivamente.

Más detalle de estos perfiles pueden verse en el apartado de Anexos de este documento.

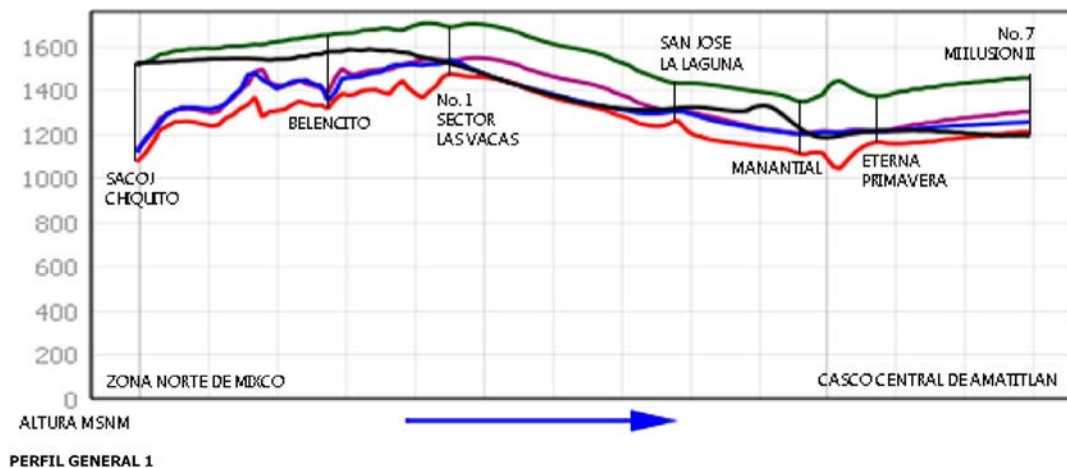


Imagen 4-7. Perfil 1, municipios de Mixco, Villa Nueva y Amatitlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018.

En el caso de la imagen 4-7 puede observarse (en Villa Nueva), el descenso del nivel de agua subterránea, el cual ha sido poco significativo alcanzando en algunos lugares hasta 50 m en los últimos 40 años.

Otro aspecto importante que puede observarse en la imagen 4-8 es que existen zonas en el área de transición entre los municipios de Mixco y Villa Nueva y parte de la región sur de Villa Nueva que se encuentra en contacto con el municipio de Amatitlán, aquí los niveles registrados para el período lluvioso muestran ciertas condiciones

favorables respecto a los registrados durante el período seco, dado que existe un leve ascenso del nivel de agua subterránea registrado en ambas épocas.

Con estos resultados se evidencia que estas zonas son sensibles y tienen potencial para recarga hídrica local, aspecto que mejora las condiciones del recurso hídrico y que es importante tomar en cuenta para la planificación de su uso integral.

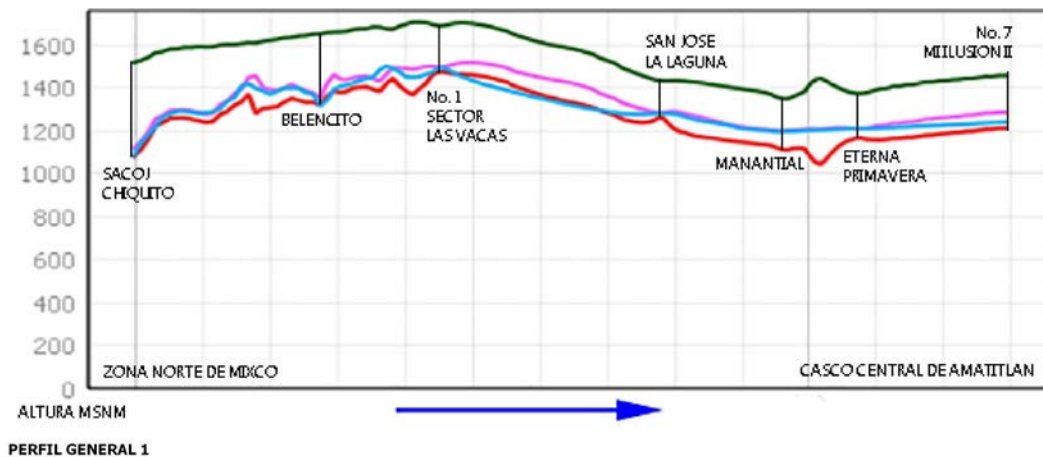


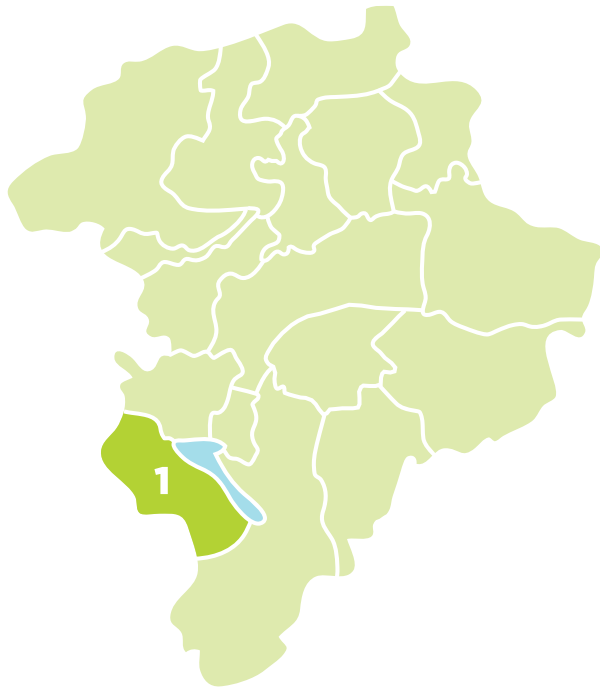
Imagen 4-8. Perfil 2, municipios de Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa y Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018.

Para comprender de mejor forma la situación local de cada uno de los municipios que conforman la MGCS, se ha realizado un detalle

de condiciones y comportamiento de aguas subterráneas locales por municipio, lo cual se presenta en los siguientes apartados

4.2. Situación del flujo de aguas subterráneas del Municipio de Amatitlán



1. Municipio de Amatitlán

Amatitlán se localiza a 27 km al sur de la ciudad capital, a una altitud de 1,190 msnm, ubicado en la latitud 14°28'42" N y longitud 90°37'08" O. Su principal vía de acceso es la carretera CA-9 Sur. El municipio tiene una extensión territorial de 204.00 km² y su población es de 82,870 habitantes en el año 2002. Se estima que en 2018 la población era de 123,021 habitantes en el municipio, según el censo realizado por el INE en 2002.

En Amatitlán existen 12 pozos municipales, sin embargo, ninguno de estos tiene instalado piezómetro para medir así los niveles presentes en los pozos, por tal razón, no fue posible el monitoreo de ningún pozo dentro de este municipio.

4.2.1. Redes de flujo de Amatitlán

En 1978 el flujo de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán funcionaba de una forma parecida a un embudo al que le llegaba agua desde el norte, sur y oeste. El extremo del municipio que colinda directamente con el lago de Amatitlán funcionaba para transferir agua a través de éste hacia Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales, como puede observarse en la imagen 4-9.

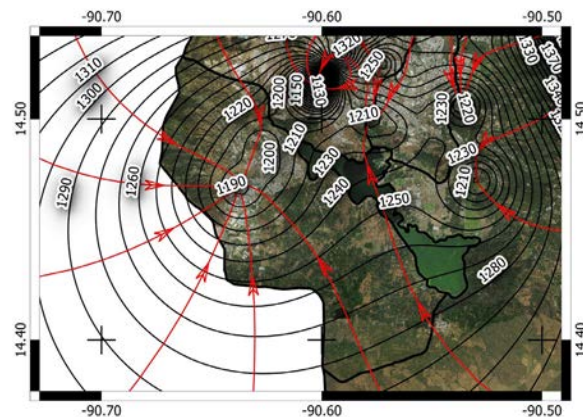


Imagen 4-9. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Amatitlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

Con los datos obtenidos de las mediciones de niveles para el año 2018 en la época seca, se pudo construir el modelo de distribución de la tendencia de red de flujo de aguas subterráneas del territorio de los municipios en estudio pudiendo abarcar el área de Amatlán, aun cuando en este territorio no se pudo tomar ninguna lectura. Sin embargo, se pudo tener una tendencia derivada de la distribución espacial de la información recolectada en pozos de otros municipios aledaños.

Las líneas de flujo en conjunto con las líneas equipotenciales de los **niveles estáticos parciales**, muestran que, en la **época seca del año 2018**, el flujo del agua subterránea en el municipio de Amatlán únicamente se encuentra transportando agua hacia la zona sur de Villa Nueva, como puede observarse en la imagen 4-10.

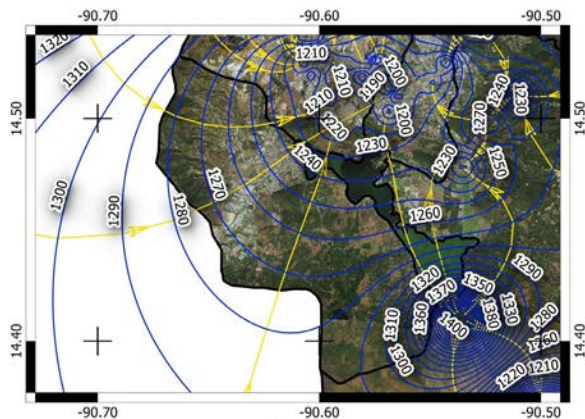


Imagen 4-10. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época seca) de Amatlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Las líneas de flujo en conjunto con las líneas equipotenciales de los **niveles dinámicos**, muestran un modelo que indica que, en la **época seca del año 2018**, el flujo del agua subterránea en el municipio de Amatlán se encuentra transportando agua hacia la zona sur de Villa Nueva y parte del casco central de San Miguel Petapa, un comportamiento bastante similar a la distribución de niveles estáticos del territorio como se observa en la imagen 4-11.

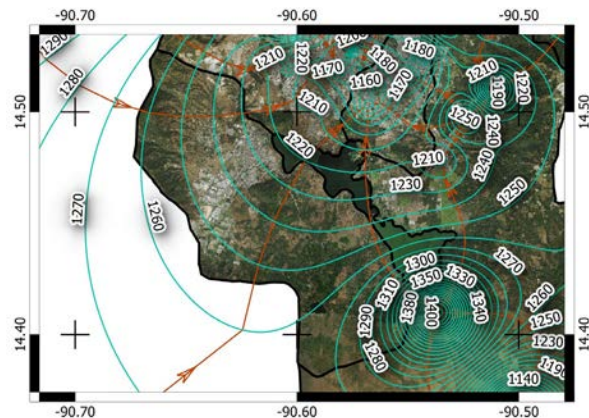


Imagen 4-11. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Amatlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Por su parte con los datos obtenidos de las mediciones de niveles para el año 2018 en la **época lluviosa**, también se pudo construir el modelo de distribución de los niveles estáticos parciales y se muestra que el flujo del agua subterránea en el municipio de Amatlán únicamente se encuentra transportando agua hacia la zona sur de Villa Nueva, como puede observarse en la imagen 4-12.

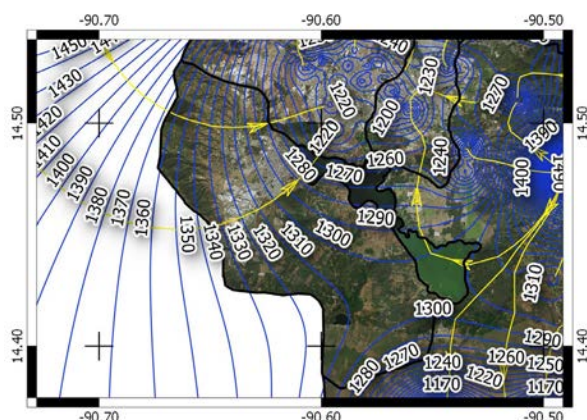


Imagen 4-12. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de Amatitlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Las líneas de flujo en conjunto con las líneas equipotenciales de los **niveles dinámicos**, muestran un modelo que indica que, en la **época lluviosa del año 2018**, el flujo del agua subterránea en el municipio de Amatitlán se encuentra transportando agua hacia la zona sur de Villa Nueva y parte del casco central de San Miguel Petapa, como se observa en la imagen 4-13, un comportamiento bastante similar a la distribución de niveles estáticos parciales del territorio en la misma época monitoreada.

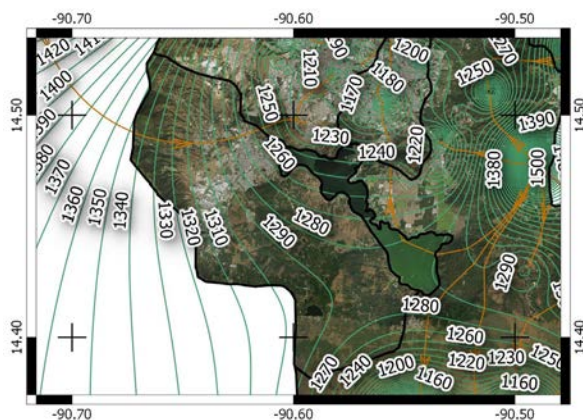


Imagen 4-13. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Amatitlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

El municipio de Amatitlán es un caso especial ya que no cuenta con la infraestructura necesaria para realizar lecturas de niveles dinámicos y estáticos a ninguno de sus pozos municipales. No obstante se cuenta con información histórica respecto a las características de profundidad de sus pozos y con ello, se ha podido construir el perfil con la tendencia del comportamiento del agua subterránea presente en el municipio, sabiendo que el nivel estático de 1978 se encuentra por lo menos a 200 metros de profundidad. Esto puede interpretarse en que los niveles dinámicos y estáticos de los pozos en el casco central del municipio se encuentran a una profundidad menor a los 200 metros, como se observa en la imagen 4-14.

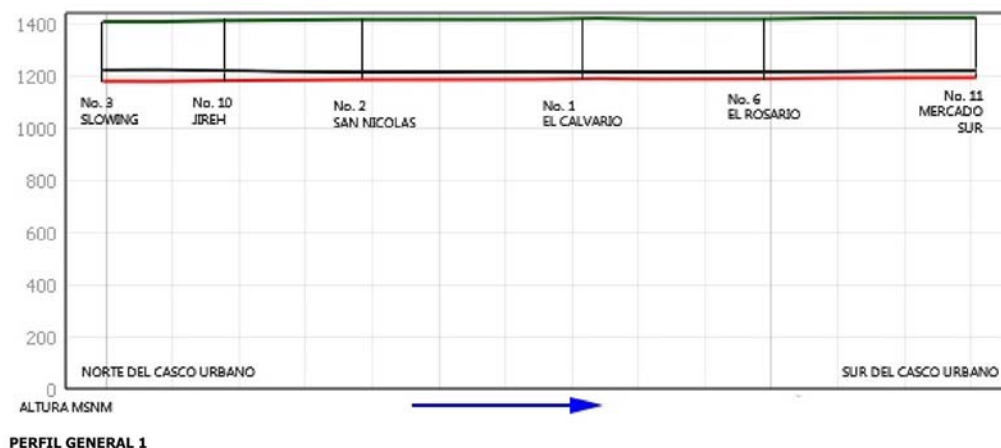
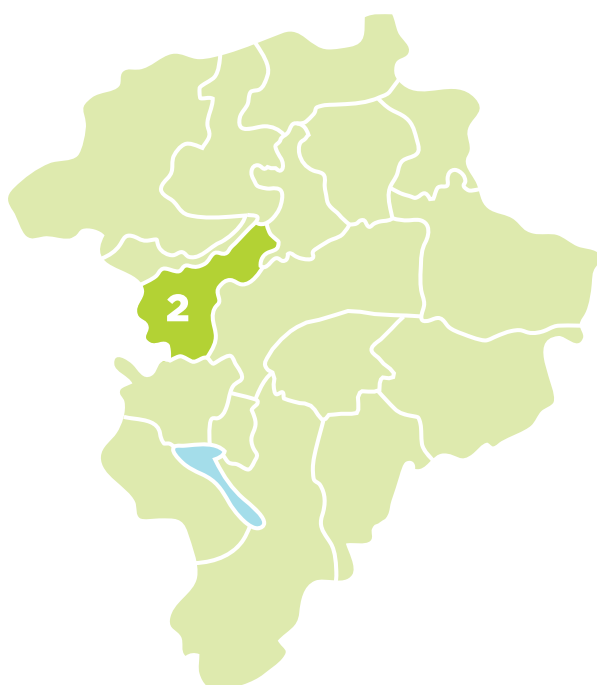


Imagen 4-14. Perfil del municipio de Amatitlán.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

4.3. Situación del flujo de aguas subterráneas del **Municipio de Mixco**



2. Municipio de Mixco

La extensión territorial de Mixco es de 132.00 km². Se encuentra ubicado en la Latitud 14°37'40"N y longitud 90°36'02"O. Fue el primer municipio en conectarse con la carretera que va a la ciudad capital en el año de 1887. El municipio se encuentra dividido en 11 zonas, 900 colonias, 11 aldeas, 5 caseríos y cantones. Sus principales rutas de acceso son la Calzada Roosevelt y la Calzada San Juan, también se puede ingresar por la Calzada Raúl Aguilar Batres, siguiendo la vía que se dirige a San Cristóbal. Para el año 2002 existía en el municipio una población de 403,669 habitantes, en 2018 se proyecta que la población asciende a 599,249 habitantes, según el censo realizado por el INE en 2002.

En Mixco existen un total de 90 pozos mecánicos, se visitaron un total de 86 pozos y de estos, se logró hacer un monitoreo en 41 pozos, lo que indica que se monitoreo el 47%, de los pozos visitados en este municipio.

4.3.1. Redes de flujo de Mixco

El flujo de agua en el municipio de Mixco proviene de una de las zonas más elevadas cercanas al Cerro Alux y se desplaza en las direcciones sur, este y norte del municipio. Según el estudio de 1978, el agua subterránea se desplazaba en dirección sur, hacia la zona Norte del municipio de Villa Nueva. El agua que se desplazaba en dirección Este tenía por destino llegar al municipio de Guatemala y el agua que se dirigía hacia el Norte llegaba hasta la zona de Sacoj Chiquito como podemos observar en la imagen 4-15.

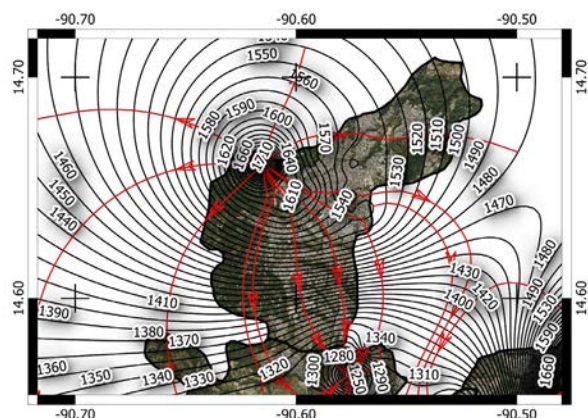


Imagen 4-15. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

Actualmente, con los resultados del monitoreo de niveles piezométricos realizados en el 2018 durante la **época seca**, el flujo del agua subterránea dentro del municipio de Mixco, ha cambiado respecto a la información de 1978, ya que no se desplaza de forma continua dentro del municipio. En la actualidad se desplaza hasta la zona norte del municipio, llegando incluso a ceder agua hasta zonas colindantes con el municipio de

Chinautla. Es importante considerar que esta es la tendencia del flujo natural del agua cuando los equipos de bombeo de los pozos se encuentran apagados, bajo un nivel estático parcial. El flujo que va hacia el municipio de Guatemala y Villa Nueva se ha mantenido. La tendencia del flujo de aguas subterráneas de la distribución del nivel estático parcial puede observarse en la imagen 4-16.

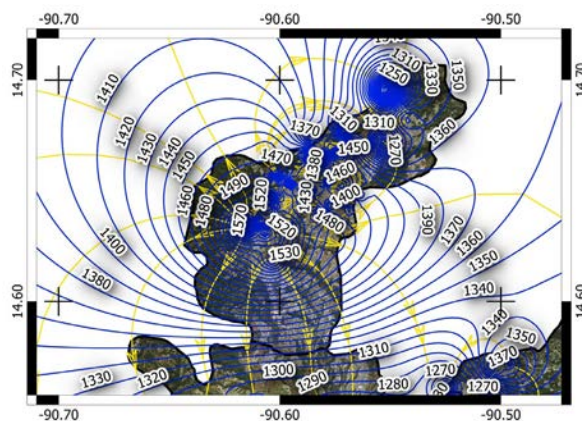


Imagen 4-16. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Dada la constante explotación del agua subterránea dentro del municipio de Mixco, se observa que el flujo del agua para la distribución de mediciones de **nivel dinámico** en los pozos es muy similar a la distribución de los **niveles estáticos parciales**. Esto debido a que la mayor parte de pozos operan por periodos continuos o incluso durante 24 horas en el día, esta distribución puede observarse en la imagen 4-17.

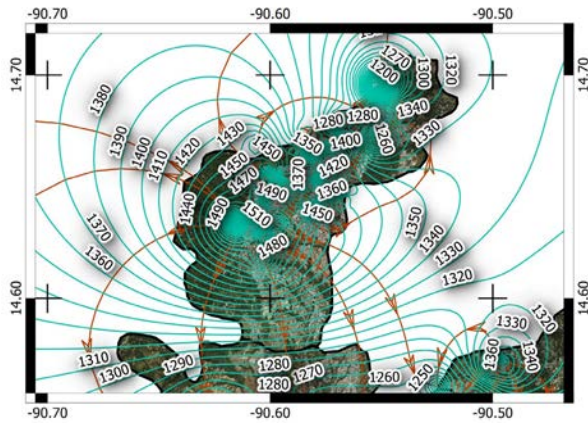


Imagen 4-17. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

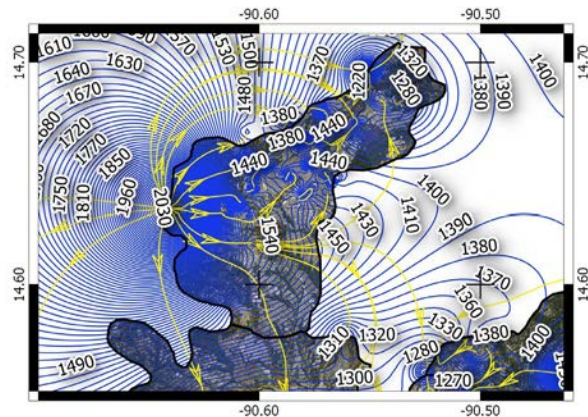


Imagen 4-18. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Del monitoreo de niveles piezométricos estáticos parciales realizados en el municipio de Mixco durante los meses de octubre a diciembre, al finalizar de la época lluviosa, se puede observar que el agua subterránea de la región se desplaza según la tendencia modelada hasta la zona Norte del municipio, llegando incluso a aportar agua hasta zonas colindantes con Chinautla. Similar a la distribución de los niveles piezométricos monitoreados en la época seca. Tal como se muestra en la imagen 4-18, es la distribución de las redes de flujo para el monitoreo de los niveles dinámicos en la misma época, lo cual puede observarse en la imagen 4-19, debido a que los pozos mecánicos ubicados en el municipio de Mixco operan por períodos extendidos diariamente.

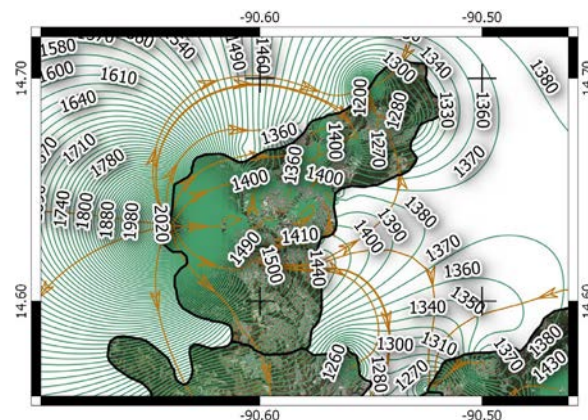


Imagen 4-19. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Mixco es el municipio dentro de la región monitoreada que presenta mayor descenso de los niveles piezométricos según la comparación realizada a la situación del año 1978.

En ellos se observa que los niveles estáticos y dinámicos de 2018 se encuentran cerca entre sí, lo cual muestra un buen rendimiento de los

pozos en términos de demanda y capacidad de recuperación de niveles, dada la operación permanente de los mismos. Sin embargo, es alarmante que dichos niveles están muy cerca del fondo de la perforación total de los pozos, lo que significa que varios de los pozos en Mixco están muy propensos a deshabilitarse.

El grado de sobreexplotación que tienen los pozos mecánicos municipales de Mixco se debe al exponencial crecimiento urbano en los últimos 40 años. Existen regiones de Mixco donde (respecto al estudio realizado en 1978) se observa un descenso de hasta 400m de profundidad como se puede ver en la imagen 4-20.

Adicional al aspecto del descenso que sufre el nivel de aguas subterráneas en varias regiones de Mixco, y de acuerdo a los resultados obtenidos es uno de los municipios donde existe menos variabilidad muestreada respecto a los niveles estáticos de sus pozos de agua, entre las épocas seca y lluviosa. Sin embargo, existen zonas muy puntuales donde hay un pequeño incremento del nivel de agua subterránea de la época lluviosa respecto a la época seca, tal es el caso del pozo No. 1 San Ignacio, donde se observa un incremento en el nivel del agua subterránea de aproximadamente 20 metros. Puede evidenciarse que la recarga hídrica del municipio existe pero es limitada dada la urbanización extrema presente y las pocas áreas de conservación disponibles que permiten recarga hídrica natural durante

los períodos lluviosos. Este comportamiento puede observarse en la imágenes 4-21, y se trata de zonas que podrían considerarse como una reserva o zona de protección hídrica importante dentro del área.

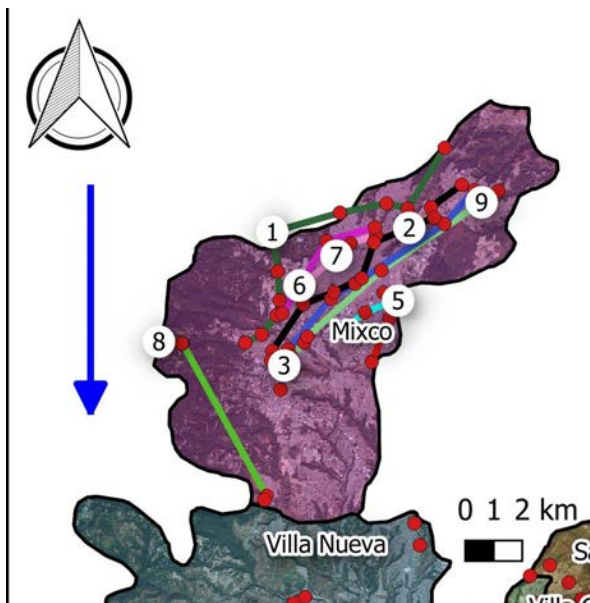


Imagen 4-20. Ubicación de perfiles de distribución de parámetros monitoreados municipio de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018.

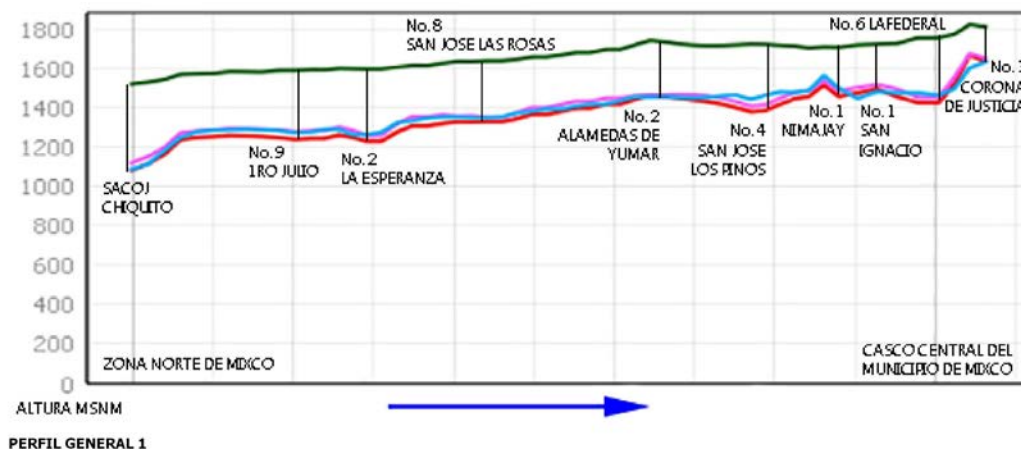
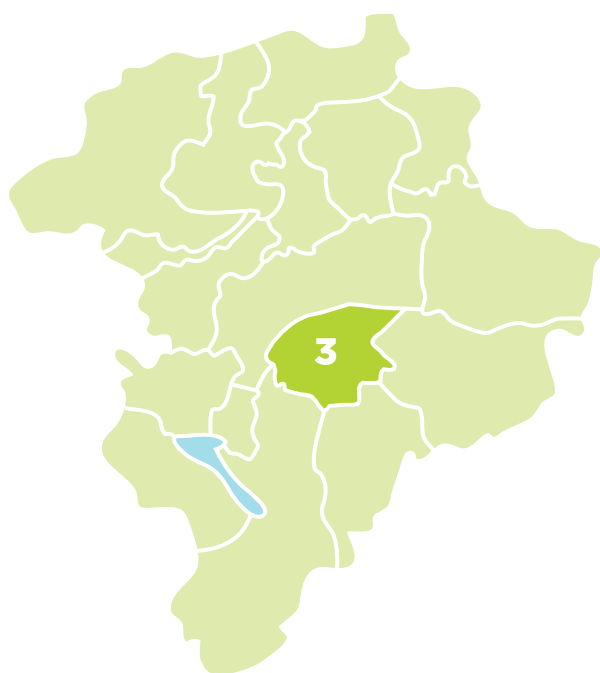


Imagen 4-21. Perfil 1 del municipio de Mixco.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

4.4. Situación del flujo de aguas subterráneas del Municipio de Santa Catarina Pinula



3. Municipio de Santa Catarina Pinula

Santa Catarina Pinula cubre una extensión territorial de 51.95 km² y posee una altitud de 1,550 msnm. Se encuentra ubicado en la latitud 14°34'13" N y longitud 90°29'45" O. En el año 2002 había una población de 63,767 pobladores y en 2018 se espera que la población sea de 94,663, según el censo realizado por el INE en 2002.

En Santa Catarina Pinula existe un total de 20 pozos mecánicos de los cuales se visitaron un total de 10 y de estos, se logró realizar un monitoreo en 8 pozos, lo que indica que se monitoreo el 80%, de los pozos visitados en este municipio.

4.4.1 Redes de flujo de Santa Catarina Pinula

En 1978 la distribución del flujo de agua subterránea en el municipio de Santa Catarina Pinula, el agua subterránea parte desde el centro del municipio hacia toda la periferia del centro poblado, una zona que otorgaba agua subterránea a los municipios colindantes como Guatemala y Villa Canales tal como se muestra en la imagen 4-22.

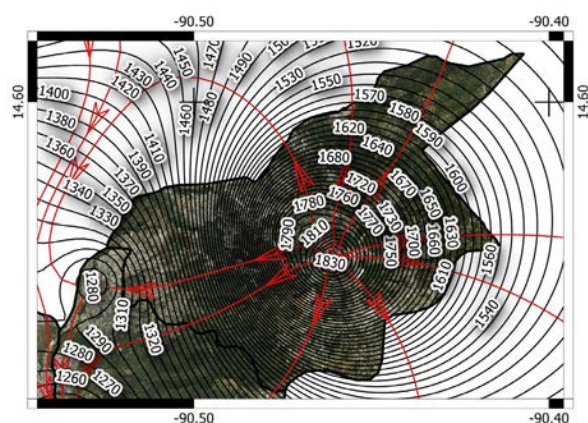


Imagen 4-22. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Santa Catarina Pinula.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

La forma en que el agua subterránea del municipio se desplaza actualmente, en el estado estático parcial de explotación, y de acuerdo al monitoreo realizado durante la época seca del 2018 no es homogénea como hace cuarenta años. El modelo de la tendencia de las líneas de flujo muestra que Santa Catarina Pinula tiene una zona de desplazamiento de agua respecto a lo histórico de 1978 y ha tendido a trasladarse al extremo Oeste del municipio, lo cual transporta agua al municipio de Villa Canales principalmente y como puede observarse en la imagen 4-23.

Cuando los equipos de bombeo de los pozos se encuentran en operación, no existe una variación considerable entre las líneas de flujo de los niveles dinámicos y estático respecto al flujo del agua subterránea monitoreada en la actualidad, esto puede observarse al comparar las imágenes imagen 4-23 y 4-24, esto es debido a que la mayoría de los pozos utilizados por la municipalidad de Santa Catarina Pinula se operan en periodos extendidos diarios, la mayoría sin descanso o interrupción durante 24 horas al día.

En el caso de la tendencia en distribución de redes de flujo para Santa Catarina Pinula producto del monitoreo de los niveles estático y dinámico en el período lluvioso 2018, la distribución es muy similar a la de la época seca, como se puede observar en las imágenes 4-25 y 4-26. El agua subterránea se concentra al Oeste del municipio, moviéndose ligeramente al Norte del municipio de Villa Canales, en los sectores de El Porvenir y Boca del Monte..

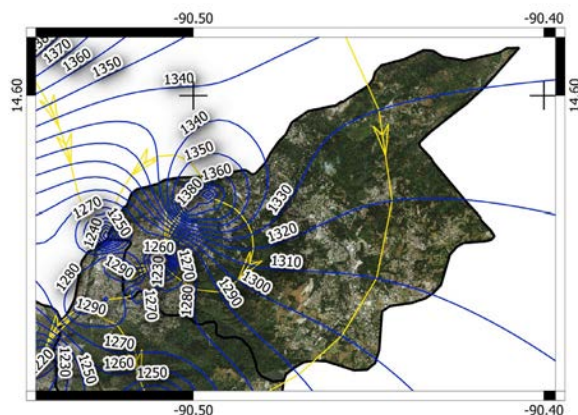


Imagen 4-23. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época seca) de Santa Catarina Pinula.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

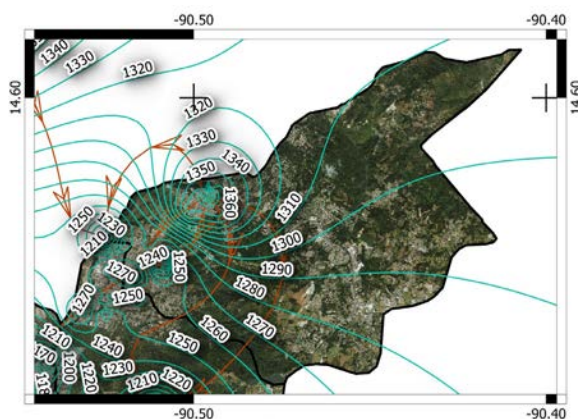


Imagen 4-24. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Santa Catarina Pinula.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

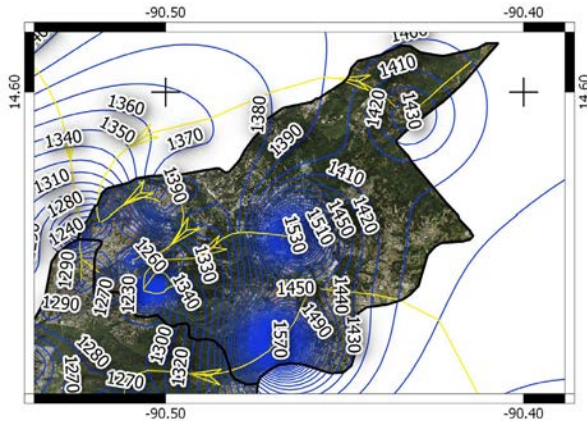


Imagen 4-25. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de Santa Catarina Pinula.
Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

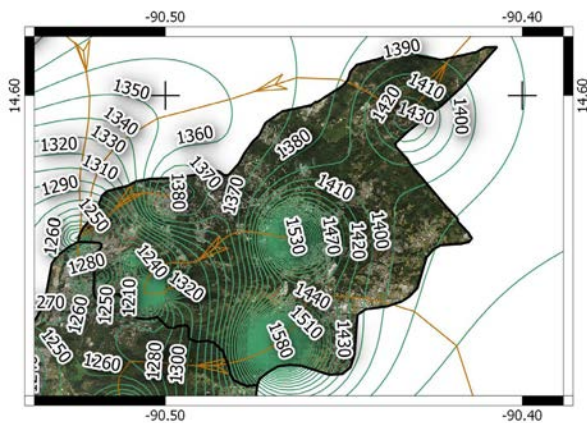


Imagen 4-26. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Santa Catarina Pinula.
Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Santa Catarina Pínula presenta un perfil piezométrico con los niveles de agua subterránea de 1978 por encima de los niveles medidos en 2018, con una diferencia o descenso de niveles piezométricos de hasta 120 m registrado en los últimos 40 años. Existen dos pozos que se encuentran en mal estado ya que los niveles estático parcial y dinámico se acercan bastante a la perforación total del pozo, tal es el caso de los pozos El Huisital y El Jordán. Estos pozos se monitorean constantemente debido a esta limitante condición.

Otro de los factores a destacar, que puede observarse en la imagen 4-28 es que las curvas de niveles dinámicos y estáticos parciales se mantienen casi constantes, debido a lo que se mencionaba anteriormente respecto al periodo de operación de los equipos de bombeo de los pozos que trabajan jornada completa de 24 horas.

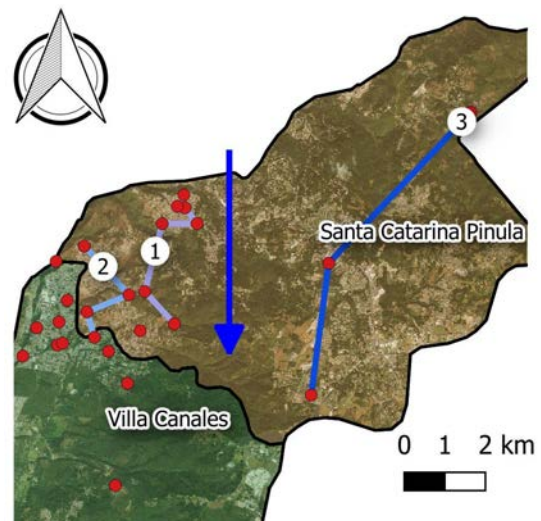


Imagen 4-27. Ubicación de Perfiles del municipio de Santa Catarina Pinula.

Fuente: Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

En la imagen 4-28 también puede observarse que en la zona del casco central del municipio de Santa Catarina Pinula hasta la zona cercana al pozo El Jordan no existe una diferencia significativa entre los niveles estáticos parciales monitoreados en época lluviosa y época seca. No obstante, en el lugar donde se ubica el pozo El Jordan y en dirección del área de la Salvadora I se observa un incremento en las condiciones de distribución del nivel piezométrico de aguas

subterráneas registrado en aproximadamente 100 metros, lo que indica que ese sector puede ser sensible a recarga hídrica local que ocurre durante la época lluviosa. Esto puede deberse a que la aldea La Salvadora I es un área boscosa lo cual propicia condiciones favorables de recarga hídrica natural para el suelo.

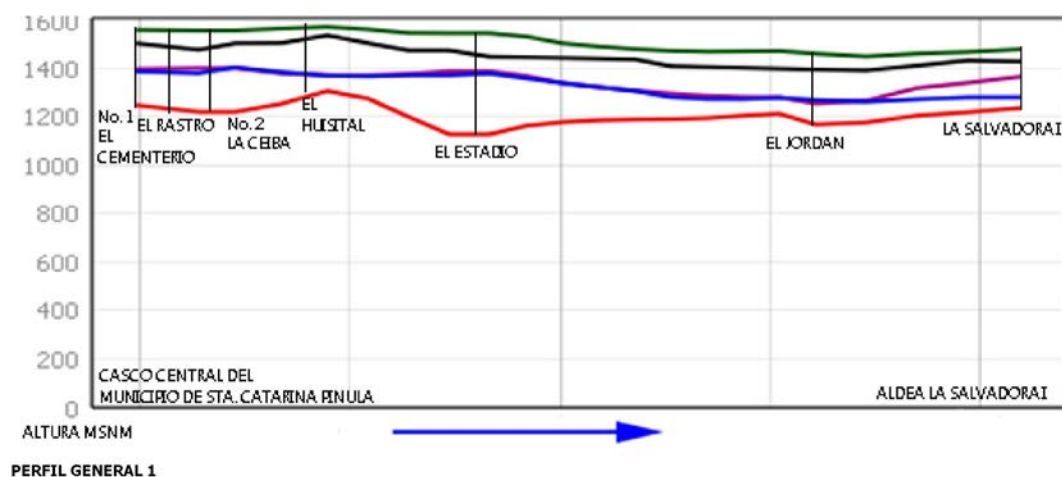


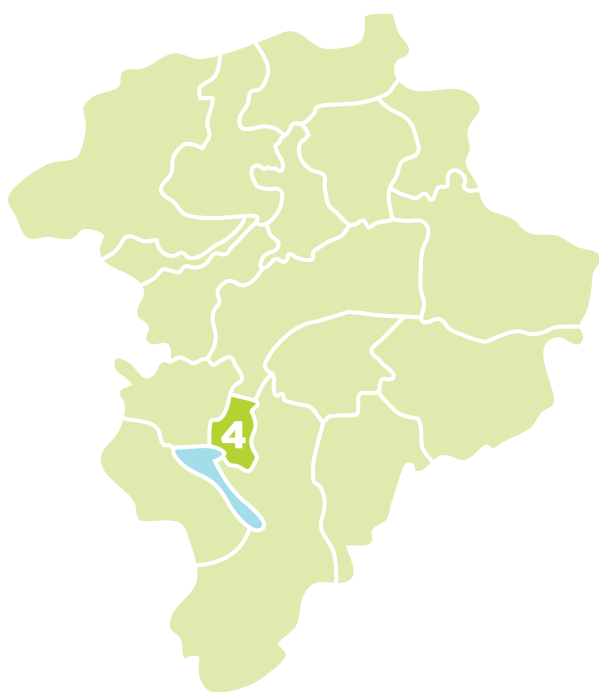
Imagen 4-28. Perfil 1 del municipio de Santa Catarina Pinula.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

En Santa Catarina Pinula la mayoría de los pozos presentan condiciones estables en cuanto a la distribución de niveles estático parcial y dinámico respecto a la profundidad total de los pozos, es decir, aún hay una buena columna de agua presente en el pozo entre los niveles estático parcial y dinámico, y el fondo de perforación

de pozo que es aprovechable. Los pozos El Cementerio I, La Ceiba II, El Estadio, Sector IV, La Arboleda y Sector VI por ejemplo, son pozos que pueden considerarse como pozos con fines sostenibles para su uso como puede observarse en la imagen 4-28.

4.5. Situación del flujo de aguas subterráneas del **Municipio de San Miguel Petapa**



4. Municipio de San Miguel Petapa

El municipio de San Miguel Petapa es el municipio más pequeño en extensión territorial dentro del departamento de Guatemala. Se encuentra ubicado al sur del municipio de Guatemala a una latitud 14°30'7.47" N y longitud 90°33'40.06" O.

Su extensión territorial es de 24.64 km² y su altitud es de 1,360 msnm en promedio. En el año 2,002 contaba con una población de 101,242 habitantes según el censo realizado por el INE en el año 2002, en 2018 se espera que la población alcance los 150,294 habitantes, según proyección respecto al censo oficial realizado por el INE.

En San Miguel Petapa existe un total de 25 pozos mecánicos, se visitaron un total de 9 pozos y de estos, se logró hacer un monitoreo en 4 pozos, lo que indica que se monitoreo el 44%, de los pozos visitados en este municipio.

4.5.1. Redes de flujo de San Miguel Petapa

El flujo del agua subterránea presente en el municipio de San Miguel Petapa en 1978 era básicamente uniforme, generando una zona de tránsito de agua subterránea desde los municipios de Guatemala, norte de Villa Canales y este de Villa Nueva, en dirección sur hacia el lago de Amatitlán, como puede observarse en la imagen 4-29.

El municipio de San Miguel Petapa es el municipio más pequeño en extensión territorial dentro del departamento de Guatemala. Se encuentra ubicado al sur del municipio de Guatemala a una latitud 14°30'7.47" N y longitud 90°33'40.06" O.

Su extensión territorial es de 24.64 km² y su altitud es de 1,360 msnm en promedio. En el año 2,002 contaba con una población de 101,242 habitantes según el censo realizado por el INE en el año 2002, en 2018 se espera que la población alcance los 150,294 habitantes, según proyección respecto al censo oficial realizado por el INE.

Esta tendencia es también producto del diferencial en la altitud presente en los puntos de convergencia entre San Miguel Petapa y sus municipios aledaños, ya que la altitud promedio presente en San Miguel Petapa es inferior respecto al resto de altitudes de sus municipios vecinos.

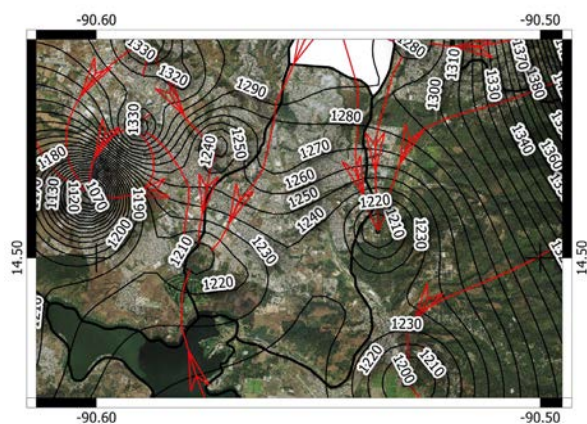


Imagen 4-29. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 1978 de San Miguel Petapa.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

De acuerdo a los resultados obtenidos del monitoreo de los niveles piezométricos durante los meses de abril a junio del 2018, se pudo construir la tendencia de las líneas de flujo de los niveles estáticos parciales del agua subterránea de la época seca, la cual muestra que San Miguel Petapa posee varias zonas le aportan flujos de agua subterránea, como se observa la imagen 4-30. Es evidente que la tendencia del movimiento de las aguas subterráneas presente en el municipio proviene de los 3 municipios que le rodean, Guatemala, Villa Nueva y gran parte del municipio de Villa Canales.

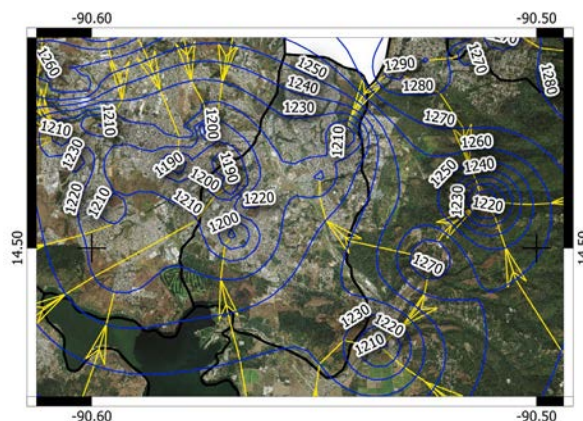


Imagen 4-30. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de San Miguel Petapa.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Por su lado las líneas de flujo de los niveles dinámicos del agua subterránea monitoreados también durante la época seca del año 2018 muestran una distribución muy similar a la de los resultados del monitoreo de niveles estáticos parciales. Esto debido a que la alta demanda de agua presente en el municipio es muy difícil dejar de operar varios de los pozos productores, no obteniendo así lecturas de niveles estáticos reales. La forma de la distribución de las líneas equipotenciales de los niveles dinámicos monitoreados es más densa, lo que representa un cambio brusco en los niveles debido a que los equipos se encuentran en operando, esto puede apreciarse en la imagen 4-31.



Imagen 4-31. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de San Miguel Petapa.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

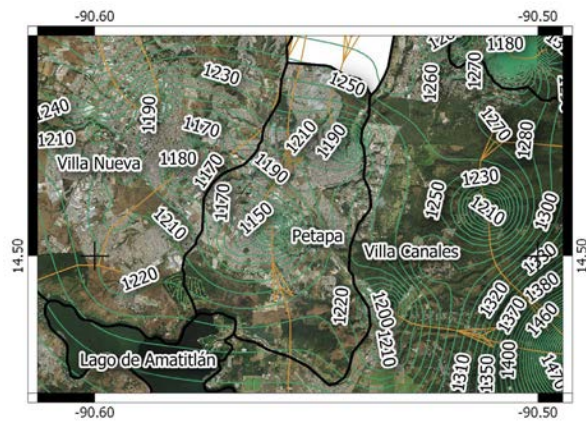


Imagen 4-33. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de San Miguel Petapa.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Las líneas de flujo de los niveles estáticos parciales y dinámicos del agua subterránea de la época lluviosa del año 2018 muestran que San Miguel Petapa posee al igual que durante la época seca, aporte de flujo de agua subterránea proveniente de los 3 municipios que lo rodean, siendo este municipio la zona donde se concentra el agua subterránea como se observa en las imágenes 4-32 y 4-33.

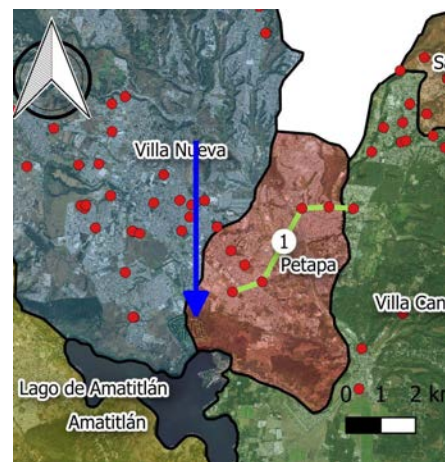


Imagen 4-34. Ubicación de Perfiles del municipio de San Miguel Petapa

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

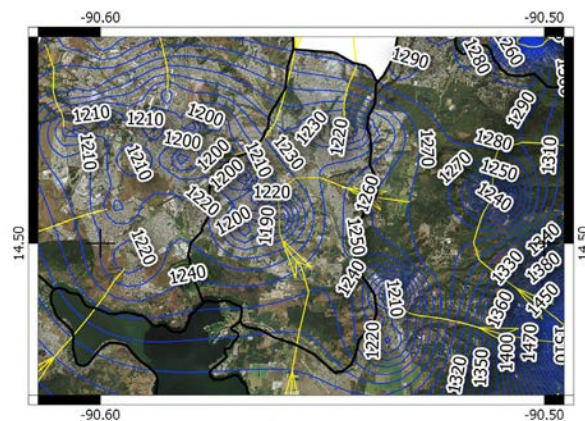


Imagen 4-32. Red de flujo del nivel estático parcial de pozos en 2018 (época lluviosa) de San Miguel Petapa.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Con la tendencia de distribución de niveles estáticos parciales y dinámicos del monitoreo realizado en las épocas seca y lluviosa del año 2018 y datos históricos de niveles estáticos de

1978 se pudieron construir varios perfiles o cortes transversales sobre la superficie de terreno que ocupa el municipio de San Miguel Petapa, en los cuales puede observarse que existen zonas dentro del municipio donde el descenso del nivel del agua subterránea en los últimos 40 años, no ha sido significativo (valor de 50mts).

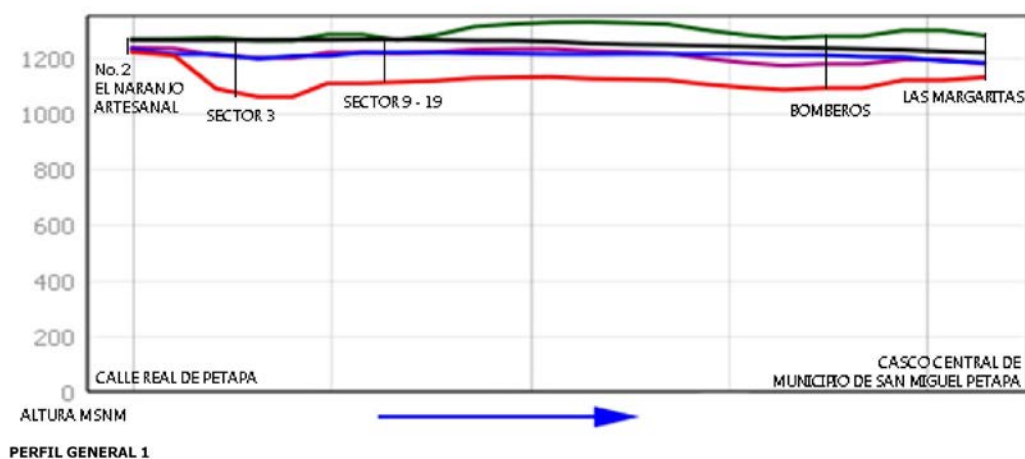


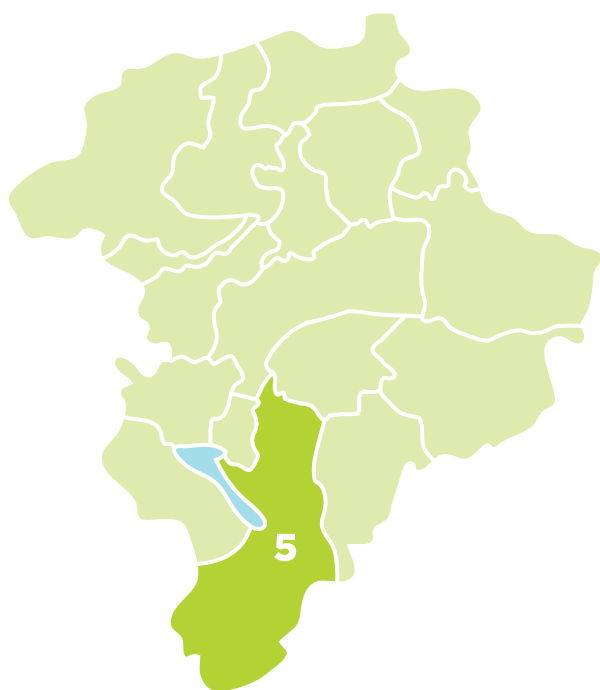
Imagen 4-35. Perfil 1 del municipio de San Miguel Petapa.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

También puede observarse en la imagen anterior un ligero incremento de aproximadamente 20 metros en el nivel dinámico de época lluviosa en el pozo No. 2 El Naranjo, el cual, aunque se

trata de un pozo artesanal, evidencia que existe cierto impacto generado por los eventos de lluvia en la zona, que mejoran de alguna manera las condiciones de los niveles de aguas subterráneas en la zona.

4.6. Situación del flujo de aguas subterráneas del Municipio de Villa Canales



5. Municipio de Villa Canales

Originalmente el municipio de Villa Canales era conocido como Pueblo Viejo, luego paso a llamarse San Joaquín Villa Canales, para después llamarse Villa Canales y fue el 29 de abril de 1935 cuando por Decreto Legislativo No. 2081 el municipio se incorporó al departamento de Guatemala. Se ubica en la latitud $14^{\circ}26'52''$ N y longitud $90^{\circ}30'45''$ O. Tiene una extensión territorial de 353.00 km² y una población de 103,814 habitantes en el año 2002, se espera que en 2018 la población sea de 154,112 personas, según proyección calculada en base al censo realizado por el INE.

En Villa Canales existe un total de 23 pozos mecánicos, de los cuales en la campaña de monitoreo conducida en el año 2018 se visitaron los 23 y de estos, se logró hacer un monitoreo en 12 pozos, el 52%, de los pozos visitados en este municipio.

4.6.1. Redes de flujo de Villa Canales

Tomando como referencia el estudio de aguas subterráneas realizado en 1978, se logró obtener la distribución de aguas subterráneas de referencia del municipio. De acuerdo a lo que se observa en la imagen 4-36, la zona Sur del municipio era el medio de transporte de agua subterránea hacia Amatitlán, el casco urbano de Villa Canales y parte de Villa Nueva. Las zonas donde se encontraban ubicados los pozos eran zonas que recibían agua proveniente de los municipios colindantes tales como Santa Catarina Pínula, San Miguel Petapa y el propio Villa Canales.

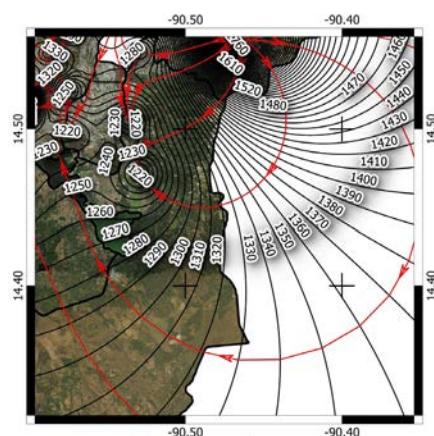


Imagen 4-36. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

En la actualidad debido a que la demanda del recurso hídrico ha crecido a lo largo de los últimos cuarenta años, tras un crecimiento y avance de la frontera urbana dentro del municipio, la infraestructura para la explotación del agua subterránea se ha extendido en gran medida desde la parte norte de Villa Canales, hasta la zona sur del municipio.

Con los datos obtenidos en la campaña de monitoreo de niveles piezométricos estáticos parciales y dinámicos del año 2018 se ha podido construir la tendencia de distribución del flujo del agua en el subsuelo propia de Villa Canales que se distribuye uniformemente hacia el municipio de San Miguel Petapa y el extremo este del lago de Amatitlán. Esto se ve reflejado en las imágenes 4-37 y 4-38, que a su vez muestran variación mínima entre los regímenes para medición de niveles estáticos parciales y dinámicos del municipio durante la época seca.

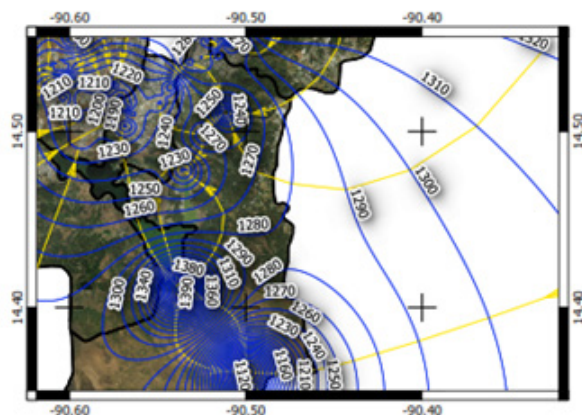


Imagen 4-37. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

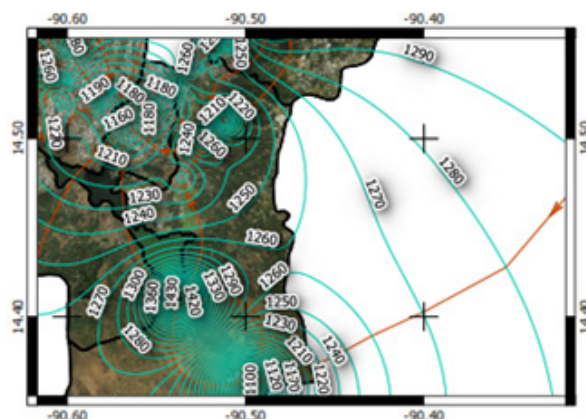


Imagen 4-38. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

En cuanto al monitoreo realizado en Villa Canales durante la época lluviosa, también se ha construido la tendencia de la distribución del flujo de agua subterránea de igual manera que para la época seca, reflejando que no existe una variación significativa entre dichas épocas de monitoreo en el territorio del municipio en mención, tal y como se observa en las imágenes 4-39 y 4-40 para regímenes de niveles estáticos parciales y dinámicos respectivamente.

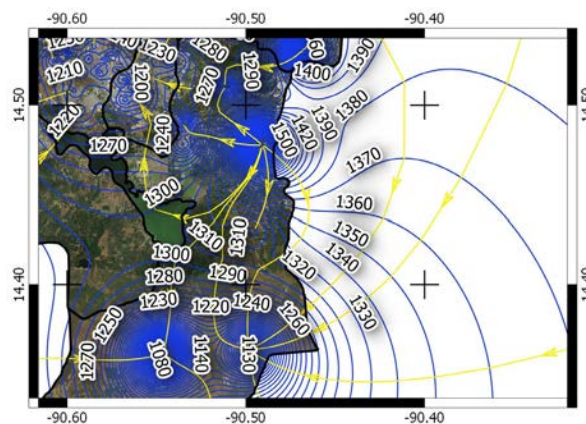


Imagen 4-39. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

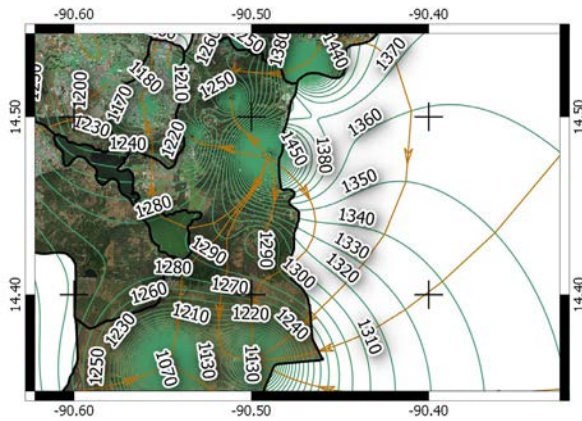


Imagen 4-40. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

A partir de la distribución espacial de tendencia de nivel estático para el año 1978, niveles estático parcial y dinámico del monitoreo en épocas seca y lluviosa en el territorio del municipio de Villa Canales, se puede observar en la imagen 4-42 que en la zona izquierda que representa el área de Boca del Monte y la zona central que pertenece al área del casco urbano del municipio, donde se puede observar que no existe una diferencia significativa entre los niveles estáticos parciales de agua de época seca y lluviosa.

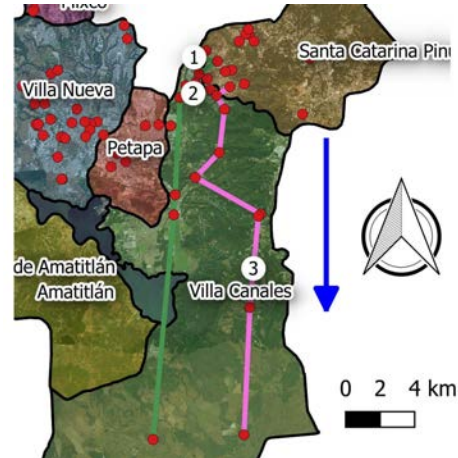


Imagen 4-41. Ubicación de Perfiles del municipio de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

Existen varias zonas en el área del municipio de Villa Canales, donde los niveles piezométricos de los pozos casi alcanzan la profundidad total de los mismos, tal es el caso del área de Shangrilá, El Rosario, El Campo y Santa Elena Barillas, por tal razón dichas regiones deben ser monitoreadas exhaustivamente para evitar sobreexplotación del recurso hídrico presente y darles vida útil prolongada.

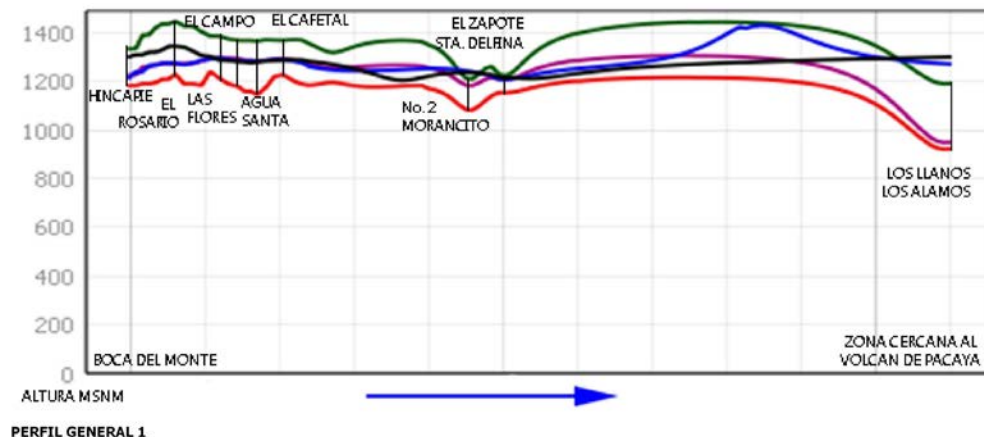
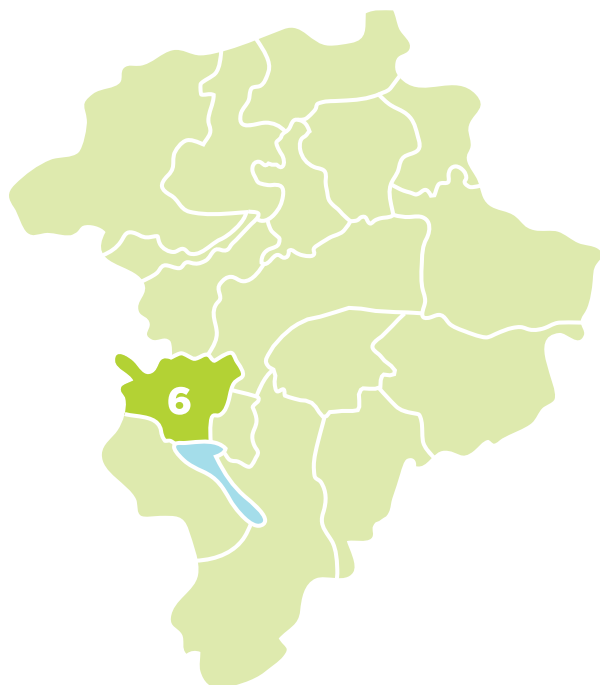


Imagen 4-42. Perfil 1 del municipio de Villa Canales.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

4.7. Situación del flujo de aguas subterráneas del Municipio de Villa Nueva



6. Municipio de Villa Nueva

El municipio de Villa Nueva se encuentra ubicado a 17 km al sur-occidente de la ciudad de Guatemala. Se localiza en la latitud $14^{\circ}31'30.69''$ N y longitud $90^{\circ}35'17.39''$ O. Tiene una extensión territorial de 114.00 km² y una población de 355,901 habitantes según el censo poblacional realizado por el INE en 2002, y para 2018 se espera que la población sea de 528,337 habitantes, según proyección realizada con datos del censo oficial realizado por el INE.

En Villa Nueva existe un total de 48 pozos mecánicos, se visitaron un total de 41 pozos y de estos se monitorearon 26, lo que indica que se monitoreó el 63%, de los pozos del municipio.

4.7.1. Redes de flujo de Villa Nueva

Desde el año de 1978, gracias a la información descrita en el documento histórico de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala, se conoce que Villa Nueva es el municipio que más agua subterránea transporta dada la dinámica presente respecto a los municipios que le rodean. La forma en que el agua circulaba dentro del área concentrándose al este, sureste y noreste del municipio. La zona oeste del municipio funcionaba como una zona de circulación de agua subterránea hacia parte del municipio de San Miguel Petapa, esta tendencia de distribución histórica del flujo de aguas subterráneas de Villa Nueva se muestra en la imagen 4-43.

Es importante mencionar que en Villa Nueva existen varios pozos que operan sin descanso, razón por la cual los niveles estáticos parciales y dinámicos son similares en los registros realizados.

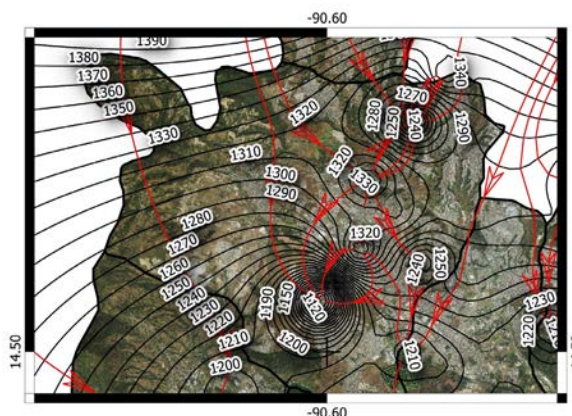


Imagen 4-43. Red de flujo del nivel estático de pozos en 1978 de Villa Nueva.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978.

En el presente Villa Nueva es uno de los municipios que presenta alta influencia de concentración de flujo de agua subterránea proveniente de municipios colindantes. La tendencia de distribución del flujo subterráneo para los niveles estáticos parciales y dinámicos monitoreados durante la época seca del 2018,

y muestran una distribución bastante similar a la observada para el año 1978 con una variante considerable en el descenso de niveles en los últimos 40 años, tal como puede observarse en las imágenes 4-44 y 4-45.

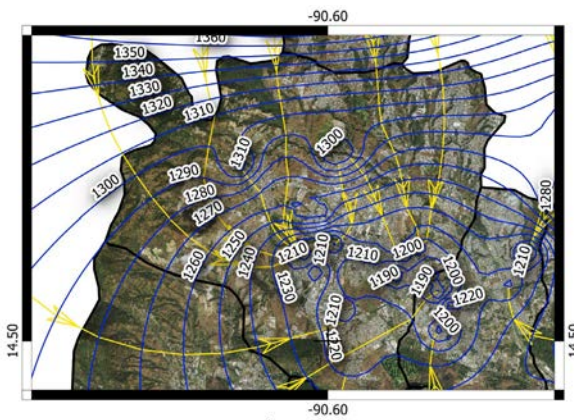


Imagen 4-44. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época seca) de Villa Nueva.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

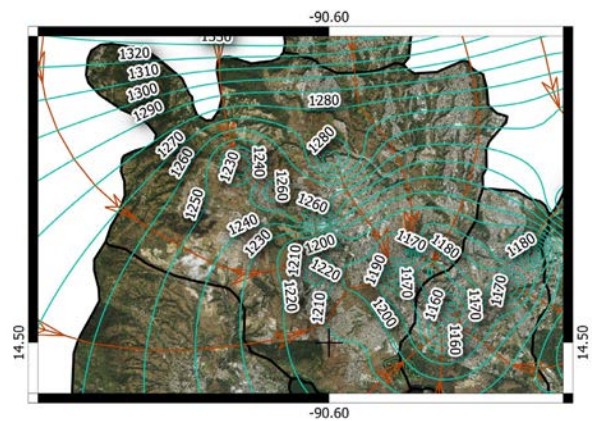


Imagen 4-45. Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época seca) de Villa Nueva.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis realizado en la época lluviosa para el monitoreo de los niveles estáticos parciales y dinámicos durante el año 2018, Villa Nueva muestra una tendencia en distribución del flujo de agua subterránea muy similar a lo observado en la época seca, acumulando Villa Nueva agua subterránea de sus municipios colindantes y transportándola hacia el sureste del territorio, como puede observarse en las imágenes 4-46 y 4-47.



Imagen 4-46. Red de flujo del nivel estático de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Nueva.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

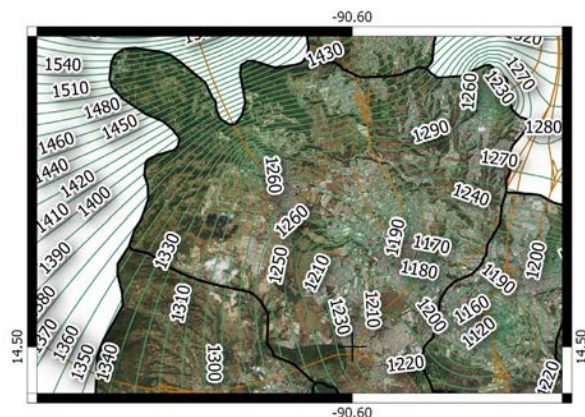


Imagen 4-47 Red de flujo del nivel dinámico de pozos en 2018 (época lluviosa) de Villa Nueva.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en campo.

Los pozos ubicados en el municipio de Villa Nueva presentan un comportamiento constante de los niveles estáticos de los últimos 40 años, mostrando descenso moderado de los niveles piezométricos no mayores a 40 m.

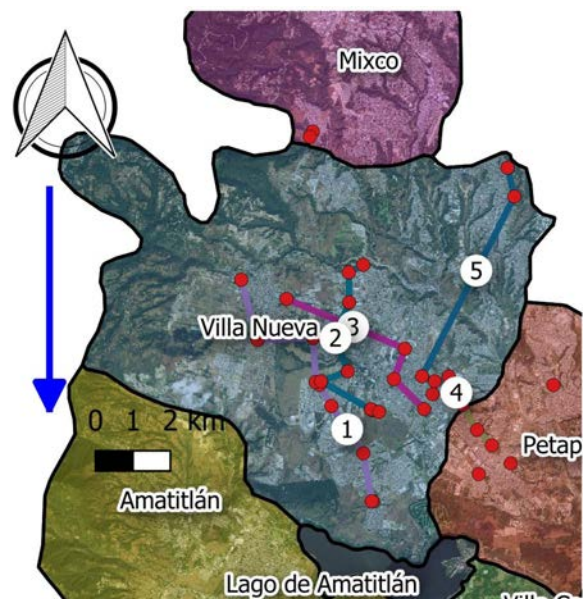


Imagen 4-48. Ubicación de Perfiles del municipio de Villa Nueva

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

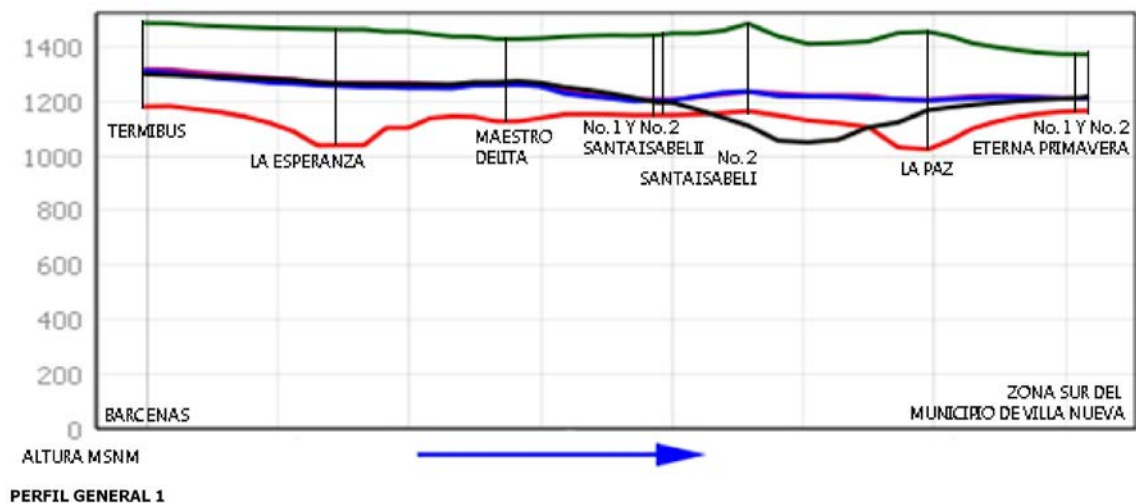


Imagen 4-49. Perfil 1 del municipio de Villa Nueva.

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala 1978 y datos obtenidos en campo 2018 (época seca y lluviosa).

Adicionalmente, el comportamiento de los niveles estáticos parciales obtenidos en época seca y época lluviosa dentro del municipio de Villa Nueva no muestran mayor variabilidad respecto a eventos meteorológicos locales registrados en general.

La dinámica del comportamiento de aguas subterráneas presente en el territorio de Villa Nueva puede observarse en la imagen 4-49. .

Existen zonas dentro de Villa Nueva que tienen una reacción significativa respecto a eventos meteorológicos locales, tal es el caso del norte del municipio en su colindancia con el municipio de Mixco y parte del sur de Villa Nueva en su colindancia con Amatitlán, como pudo observarse en la imagen 4-8, siendo estas áreas de interés que promueven la recarga hídrica local y deberían considerarse como áreas de protección como medida para la planificación del manejo integral del recurso dentro del municipio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En el año 1978 el flujo de agua subterránea presente en los municipios que comprende el estudio se desplazaba desde las zonas más altas de los municipios, Mixco, Santa Elena Barillas y Santa Catarina Pinula, hasta las zonas norte y sur del municipio de Villa Nueva, y una parte del agua se quedaba en la zona del casco urbano de Amatitlán, para el 2018 el flujo general del agua subterránea presente fluye desde las zonas más elevadas, Mixco, Santa Elena Varillas y Santa Catarina Pinula, hacia una zona centralizada ubicada en la frontera entre los municipios de Villa Nueva y San Miguel Petapa.
2. Los municipios de Santa Catarina Pinula y Mixco son los que presentan un mayor descenso en los niveles piezométricos dinámicos y estáticos parciales de agua subterránea comparados entre el año 2018 (mediciones realizadas en época seca y lluviosa) y 1978 alcanzando en algunas áreas hasta 400 m para el caso de Mixco y 120 m para el caso de Santa Catarina Pinula.
3. Los pozos de Amatitlán no cuentan con piezómetro, razón por la cual en la campaña de monitoreo de niveles piezométricos del 2018 no se logró realizar ninguna medición, en 1978 se realizaron lecturas de niveles estáticos, con lo que se puede determinar que el nivel estático en los pozos se encuentra aproximadamente a 200m de la superficie del terreno de acuerdo a la tendencia histórica registrada.
4. El pozo Las Margaritas del municipio de San Miguel Petapa, es un pozo próximo a deshabilitarse puesto que los niveles piezométricos se encuentran muy cerca del fondo total de perforación del pozo.
5. En Villa Canales es evidente que el nivel estático registrado en 1978 ha descendido en algunas zonas hasta 50m respecto al nivel estático parcial medido en las épocas seca y lluviosa de 2018.
6. En el municipio de Villa Nueva el comportamiento de los niveles piezométricos dinámicos y estáticos parciales de los últimos 40 años ha descendido en promedio 40 m.
7. Se recomienda instalar por lo menos un piezómetro en cada pozo mecánico, para tener acceso a realizar lecturas y monitoreo de niveles de agua subterránea con el objeto de tener mayor conocimiento del comportamiento de los niveles piezométricos y de esta forma realizar una toma de decisión más acertada al momento de monitorear condiciones presentes del recurso y su explotación a futuro.
8. Los piezómetros por ser instalados en los pozos, deben ser por lo menos de 1 pulgada de diámetro, para permitir introducir el equipo de medición piezométrica sin inconvenientes.

9. Se recomienda tener un plan de monitoreo constante en los pozos, por lo menos dos veces al año, diferenciando entre datos obtenidos en época seca y época lluviosa, para llevar un registro histórico que proporcione información para tomar decisiones relacionadas a aguas subterráneas.
10. El monitoreo de niveles piezométricos de los pozos puede complementarse con toma de muestras de agua para realizar análisis de calidad y generar así un modelo o tendencia de distribución espacial de ciertos parámetros de calidad de agua que permitan un control efectivo de las condiciones de calidad presentes en el territorio.
11. Cada municipalidad debe realizar un esfuerzo para adquirir equipo o sonda electrónica para la medición de niveles de agua en los pozos y poder de esta manera conducir un monitoreo permanente de sus pozos mecánicos.
12. Se recomienda a cada municipalidad tener un reglamento municipal que permita regular la explotación razonada del recurso hídrico tanto en el sector privado como en el sector público.
13. Promover la habilitación de zonas de recarga hídrica dentro de los municipios para mejorar la cantidad de agua en los mantos acuíferos es una medida importante que debe tomarse en cuenta ya que de acuerdo a este estudio existen zonas dentro de la región que sufren cierto impacto positivo tras la época lluviosa del año en términos de mejoras en condiciones o ascenso de niveles piezométricos.
14. Con el objeto de evitar contaminación local entre pozos mecánicos monitoreados, la sonda piezométrica debe ser limpiada con un trapo y alcohol antes de introducirla en cada pozo, como parte de las buenas prácticas de desinfección.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rebollo, L. F. (2014). Hidrogeología pp. 23-29. Universidad de Alcalá: Departamento de Geología - UAH.
2. Instituto Nacional de Estadística, Censos Nacionales Integrados & Fondo de Población de las Naciones Unidas. (2003). Características de la Población y de los Locales de Habitación Censados. República de Guatemala: Censos Nacionales XI de Población y VI de habitación.
3. Hernández, J. H. (2012). Evaluación de la Calidad Bacteriológica de Agua de Pozos Para Consumo Humano del Casco Urbano del Departamento de Chiquimula. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
4. Girón, D. E. (2011). Evaluación y Mapeo de la Calidad de Agua y Nivel Freático en Pozos Artesanales Para Abastecimiento Humano y su Posible Relación con la Red Hidrológica en el Casco Urbano de la Ciudad de Chiquimula, 2009. Chiquimula: Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Instituto Geográfico Nacional & Organización de Naciones Unidas. (1978). Informe Final del Proyecto Estudio de Aguas Subterráneas en Guatemala. Guatemala: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
6. Escuela de Formación y Capacitación para el Desarrollo Territorial y Catastral & Registro de Información Catastral. (2014). Curso: Quantum GIS - Conceptos Básicos p. 5. Guatemala: RIC - ESCAT: Gerencia Técnica y Unidad de SIG.
7. WikiWater. (2011). LOS DIVERSOS TIPOS DE POZOS Y PERFORACIONES. septiembre 21, 2018, de WikiWater Sitio web: https://wikiwater.fr/e28-los-diversos-tipos-de-pozos-y#outil_sommaire
8. Bear, D. (2013). Conceptos Básicos. septiembre 21, 2018, de Perforadoras Lobos Sitio web: http://www.perforadoras.cl/documentos/conceptos_basicos.pdf
9. Alvarenga, A., Cruz, H., Portillo, H. & Portillo, O. (2016). EVALUACIÓN DEL IMPACTO HÍDRICO QUE SE GENERA EN EL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, POR LA EXPLOTACIÓN DE POZOS DE USO INDUSTRIAL Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE. San Miguel, El Salvador: Universidad de El Salvador.

7. GLOSARIO

Aguas subterráneas

Desde tiempos remotos, en casi todas las civilizaciones, el agua subterránea ha sido de gran importancia. La dificultad de transportarla hasta la superficie crece cada día pues se requiere de mayor esfuerzo físico, además de aspectos técnicos haciendo más compleja su implementación en gran escala. A partir del siglo XX la explotación de las aguas subterráneas ha alcanzado su mayor desarrollo al solucionarse los problemas de extracción del agua y mejoras en la perforación de pozos mecánicos, razón por la cual hoy en día es más común la explotación de dicho recurso.

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia filtrada desde la superficie del terreno hasta los acuíferos, esta zona del subsuelo se conoce como zona no saturada y alimenta al manto freático o acuífero que conforma la zona saturada contenida en los espacios vacíos o fracturas que las rocas y el suelo.

Las reservas o agua subterráneas dependen en gran medida de dos características del suelo o medio rocoso, la permeabilidad (tamaño de espacios entre las rocas) y la porosidad (número de espacios entre las rocas). Otro factor importante o limitante en algunos casos para la explotación de los mantos acuíferos es la profundidad a la que se encuentren, si estos se localizan a gran profundidad puede que no sea rentable la explotación dado los altos costos de extracción.

Columna de descarga

Es la columna de agua que se extrae del fondo del pozo y llega hasta la superficie del terreno, en donde ya se puede disponer del uso que tendrá el agua.

Interpolación

Es una expresión matemática, que se utiliza para calcular un valor desconocido, que se encuentra entre dos o más valores conocidos. Es una forma de modelar un proceso del cual se obtienen resultados, para posteriormente realizar diagnósticos en el tiempo.

Nivel estático

Medida de nivel de agua presente en un pozo, cuando éste se encuentra en reposo o estancamiento (cuando la bomba y el motor se encuentran sin operar), es una medida relativa a la superficie del terreno.

Nivel dinámico

Medida del nivel de agua de un pozo cuando éste se encuentra en estado de producción (cuando la bomba y el motor se encuentran operando), es una medida que al igual que el nivel estático es relativa a la superficie del terreno. En la imagen 4-1 se encuentra la ilustración de los niveles estático y dinámico presentes en un pozo mecánico.

Perfiles de redes de flujo

Los perfiles de redes de flujo muestran la distribución y comparación de las redes de flujo, en función de un corte transversal construido sobre una superficie en específico, esto puede elaborarse para diferentes condiciones, momentos o demandas de agua en cada pozo. Al trabajar conjuntamente los pozos forman un sistema de redes de flujo.

Piezómetro

El piezómetro forma parte de la infraestructura mínima que debe tener un pozo mecánico. Consiste en una serie de tubos de PVC que acompaña a la tubería de la columna de extracción de agua de los pozos. Típicamente se coloca en el fondo del piezómetro un tapón y se crean ranuras alrededor de la tubería en la parte más profunda para que el agua se filtre y se pueda realizar la medición de niveles estático y dinámico del agua subterránea a través de los pozos (Imagen 7-1).

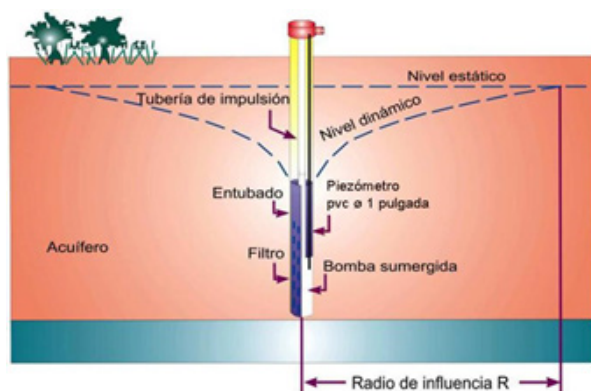


Imagen 7-1. Esquema general de un pozo.

Fuente: Alvarenga, A., Cruz, H., Portillo, H. & Portillo, O. (2016).

Pozo de agua mecánico

Un pozo de agua es una obra de captación vertical que permite la explotación del agua subterránea contenida en los intersticios o las fisuras de una roca del subsuelo o acuífero. El agua puede llevarse hasta el nivel del suelo de manera sencilla con la ayuda de un recipiente o más fácilmente con una bomba, manual o motorizada.

Redes de flujo o distribución espacial

Las redes de flujo son mallas que resultan de la intersección de dos familias de líneas, las curvas equipotenciales, las cuales son curvas que unen puntos con igual potencial hidráulico (en la sección vertical o en la horizontal) y, por tanto, representan la altitud o cota absoluta de la superficie freática (o de la superficie piezométrica general) como puede observarse en la imagen 7-2, y las líneas de flujo, las cuales representan, de forma idealizada, la trayectoria seguida por las partículas de agua en su movimiento a través del medio saturado.

Dado que el agua subterránea se desplaza en la dirección en que el gradiente hidráulico es máximo, las líneas de flujo son perpendiculares a las curvas equipotenciales en los medios isótropos, un diagrama en conjunto de líneas equipotenciales y líneas de flujo puede observarse en la imagen 7-2, con la representación de una red de flujo.

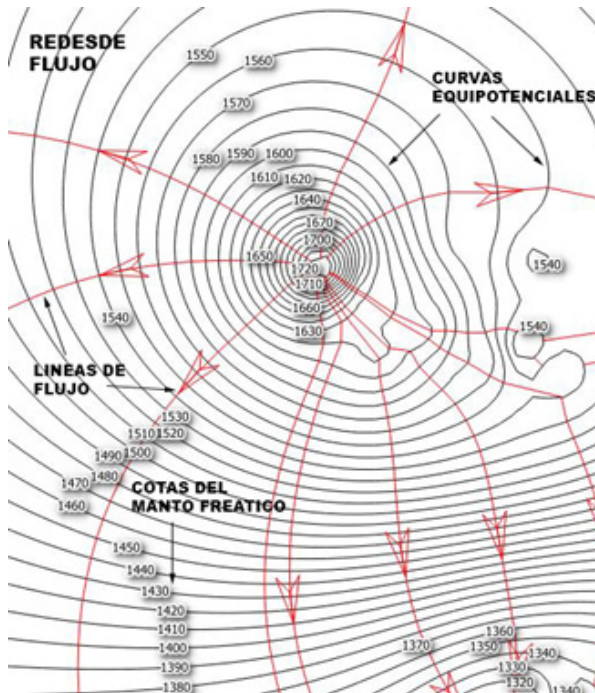


Imagen 7-2. Diagrama de redes de flujo de agua subterránea.

Fuente: Elaboración Propia basado en: NAVER. (2006). Ground Water Flow Net.

Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica, El SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización¹.

QGIS

QGIS (anteriormente llamado Quantum GIS) es un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de código abierto, licenciado bajo GNU - General Public License . QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.

Se lanzó por primera vez en julio de 2002 en la versión 0.0.1, actualmente está por lanzarse la versión 3.5 del software.

Superficie del terreno en perfil

Es una proyección que da la superficie de un terreno, cuando pasa por este una rasante. En el caso del presente estudio, la rasante se refiere a la unión de los puntos de los pozos de agua monitoreados que se encuentran distribuidos en la zona de estudio.

(1) Escuela de Formación y Capacitación para el Desarrollo Territorial y Catastral & Registro de Información Catastral. (2014). Curso: Quantum GIS - Conceptos Básicos. (p. 5.)



7. ANEXOS



A. Tabla de datos para la creación de perfiles y redes de flujo en el software QGIS época seca.

Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodo de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Santa Catarina Pinula	EL CEMENTERIO 2	14.5738	-90.4966	1597.56	1140.24	24.00	248.10	1349.46	254.00	1343.56	17-Apr
Santa Catarina Pinula	LA CEIBA 2	14.5710	-90.4961	1556.40	1068.60	24.00	148.40	1408.00	150.20	1406.20	17-Apr
Santa Catarina Pinula	EL ESTADIO	14.5675	-90.5011	1555.79	1075.61	24.00	164.00	1391.79	191.10	1364.69	17-Apr
Santa Catarina Pinula	EL HUISITAL	14.5675	-90.4934	1577.74	1333.84	24.00	206.70	1371.04	212.00	1365.74	17-Apr
Santa Catarina Pinula	EL JORDAN	14.5525	-90.5050	1482.01	1238.11	24.00	202.00	1280.01	202.00	1280.01	17-Apr
Santa Catarina Pinula	SECTOR IV	14.5518	-90.5085	1456.00	1059.66	24.00	267.00	1189.00	276.00	1180.00	17-Apr
Santa Catarina Pinula	LA ARBOLEDA	14.5480	-90.5178	1392.68	1148.78	24.00	89.00	1303.68	96.50	1296.18	17-Apr
Santa Catarina Pinula	SECTOR VI	14.5424	-90.5161	1358.00	900.68	24.00	97.10	1260.90	115.30	1242.70	17-Apr
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodo de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
San Miguel Petapa	LAS MARGARITAS	14.5022	-90.5679	1284.00	1134.61	24.00	97.92	1186.08	131.37	1152.63	17-May
San Miguel Petapa	SECTOR 9-19	14.5236	-90.5500	1266.87	1117.48	24.00	41.47	1225.41	60.94	1205.94	23-May
San Miguel Petapa	SECTOR 3	14.5240	-90.5430	1257.30	1043.89	24.00	58.50	1198.80	110.25	1147.05	17-May
San Miguel Petapa	SECTOR 1	14.5153	-90.5494	1255.12	1072.19	11.00	48.45	1206.67	99.40	1155.72	23-May
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodo de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Villa Canales	HICAPIE	14.5592	-90.5246	1295.43	1178.43	24.00	94.70	1200.73	100.00	1195.43	21-May
Villa Canales	LA ROCA	14.5407	-90.5243	1367.38	1199.38	24.00	74.75	1292.63	97.35	1270.03	21-May
Villa Canales	EL CAMPO	14.5506	-90.5221	1385.37	1277.37	24.00	80.60	1304.77	102.60	1282.77	21-May
Villa Canales	EL ROSARIO	14.5571	-90.5125	1451.52	1253.52	24.00	172.68	1278.84	177.83	1273.69	28-May
Villa Canales	EL CAFETAL	14.5382	-90.5320	1369.51	1231.51	24.00	74.28	1295.23	91.08	1278.43	28-May
Villa Canales	RAYNALDO	14.5378	-90.5244	1388.11	1217.11	24.00	107.11	1281.00	160.11	1228.00	28-May
Villa Canales	EL MATAZANO	14.5411	-90.5232	1359.45	1191.45	24.00	74.75	1284.70	105.30	1254.15	31-May
Villa Canales	MORANCITO I	14.5096	-90.5115	1224.15	1110.15	24.00	23.10	1201.05	80.42	1143.73	31-May
Villa Canales	CHICHIMECAS	14.4966	-90.5240	1390.67	1240.67	24.00	111.08	1279.59	111.25	1279.42	31-May
Villa Canales	JOCOTILLO I No. 1	14.3625	-90.4986	1117.68	1047.68	24.00	53.44	1064.24	56.50	1061.18	Jun-18

Villa Canales	EL ZAPOTE O STA. DEL-FINA	14.4771	-90.5353	1225.30	1155.30	24.00	17.65	1207.65	18.70	1206.60	Jun-18
Villa Canales	SANTA ELENA BARILLAS	14.4089	-90.5366	1670.73	1435.98	24.00	214.19	1456.54	215.00	1455.73	Jun-18
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodo de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Mixco	FEDERAL No. 6	14.6353	-90.6092	1760.06	1401.83	24.00	295.08	1464.98	302.68	1457.38	7-Jun
Mixco	PARQUECITO No. 1	14.6307	-90.6009	1698.17	1492.38	6.00	167.33	1530.84	183.43	1514.74	7-Jun
Mixco	No. 1 - 1RO JULIO POZO	14.6667	-90.5732	1614.02	1435.37	24.00	81.56	1532.46	149.40	1464.62	7-Jun
Mixco	No. 6 - 1RO JULIO POZO	14.6690	-90.5736	1577.74	1269.82	24.00	194.60	1383.14	260.20	1317.54	7-Jun
Mixco	No. 9 - 1RO JULIO POZO	14.6750	-90.5632	1590.24	1228.96	24.00	277.65	1312.59	318.15	1272.09	7-Jun
Mixco	No. 4 - EL PARQUE CENTRAL	14.6301	-90.6059	1755.18	1547.87	24.00	160.70	1594.48	196.70	1558.48	22-Jun
Mixco	No. 3 - CORONA DE JUSTICIA	14.6327	-90.6145	1824.39	1670.43	24.00	140.45	1683.94	148.10	1676.29	22-Jun
Mixco	No. 1 - SECTOR LAS VACAS	14.6179	-90.6033	1688.41	1479.57	24.00	145.35	1543.06	192.30	1496.11	22-Jun
Mixco	No. 2 - NUEVO - PUENTE JORGE SURQUE	14.6276	-90.6019	1723.48	1235.67	24.00	180.10	1543.38	339.30	1384.18	22-Jun
Mixco	No. 1 - EL MOLINO	14.6327	-90.5959	1651.83	1491.77	24.00	131.03	1520.80	144.48	1507.35	2-Jul
Mixco	No. 2 - SANTA RITA	14.6266	-90.5746	1582.32	1361.28	24.00	134.83	1447.49	181.00	1401.32	2-Jul
Mixco	No. 1 - MZ C - Z 3	14.6375	-90.5829	1660.98	1450.61	24.00	150.80	1510.18	152.20	1508.78	2-Jul
Mixco	No. 6 - NUEVA MONSERRAT - Z 3	14.6422	-90.5766	1636.28	1239.94	24.00	244.40	1391.88	317.00	1319.28	2-Jul
Mixco	No. 7 - NUEVA MONSERRAT - Z 3	14.6404	-90.5689	1604.57	1228.05	24.00	201.90	1402.67	230.10	1374.47	2-Jul
Mixco	No. 1 - SAN IGNACIO	14.6414	-90.6046	1724.70	1514.33	24.00	155.00	1569.70	188.30	1536.40	9-Jul
Mixco	No. 1 - NIMAJAY	14.6461	-90.6037	1710.98	1547.87	24.00	113.20	1597.78	145.90	1565.08	9-Jul
Mixco	No. 3 - SAN IGNACIO	14.6419	-90.6027	1697.87	1319.82	24.00	271.70	1426.17	335.50	1362.37	9-Jul
Mixco	No. 5 - LA BRIGADA	14.6518	-90.5952	1618.29	1278.29	24.00	245.80	1372.49	319.70	1298.59	9-Jul
Mixco	No. 3 - LA COMUNAL - LA BRIGADA	14.6501	-90.5941	1672.87	1442.87	24.00	178.80	1494.07	218.80	1454.07	9-Jul
Mixco	No. 1 - EL PARAISO I	14.6448	-90.5961	1672.56	1432.56	24.00	181.60	1490.96	217.50	1455.06	9-Jul

Mixco	No. 1 - BELENCITO	14.6466	-90.5874	1662.20	1392.20	12.00	179.40	1482.80	253.60	1408.60	11-Jul
Mixco	No. 2 - BELENCITO	14.6487	-90.5865	1651.22	1286.22	14.00	307.10	1344.12	346.00	1305.22	11-Jul
Mixco	No. 4 - SAN JOSE LOS PINOS	14.6552	-90.6042	1725.91	1366.16	24.00	302.00	1423.91	303.00	1422.91	11-Jul
Mixco	No. 2 - ALAMEDAS DE YUMAR	14.6676	-90.6059	1742.68	1462.20	15.00	277.00	1465.68	278.15	1464.53	11-Jul
Mixco	No. 2 - SAN JOSE LOS PINOS	14.6547	-90.6021	1716.77	1541.46	24.00	116.90	1599.87	141.50	1575.27	11-Jul
Mixco	No. 1 - LAS BRISAS	14.6531	-90.5990	1660.06	1452.74	20.00	152.50	1507.56	170.20	1489.86	12-Jul
Mixco	No. 1 - VALLE DEL SOL	14.6444	-90.5674	1604.57	1389.63	24.00	144.60	1459.97	181.90	1422.67	12-Jul
Mixco	No. 2 - VALLE DEL SOL	14.6468	-90.5656	1586.89	1202.74	20.00	240.10	1346.79	242.40	1344.49	12-Jul
Mixco	No. 3 - BULEVAR SAN NICOLAS - 1 NUEVO	14.6454	-90.5687	1577.13	1276.83	24.00	140.00	1437.13	260.00	1317.13	12-Jul
Mixco	No. 1 - MONTE REAL	14.6440	-90.5722	1614.33	1416.33	24.00	144.00	1470.33	194.00	1420.33	12-Jul
Mixco	No. 8 - MONSERRAT I	14.6513	-90.5798	1645.73	1295.12	24.00	235.90	1409.83	318.90	1326.83	12-Jul
Mixco	No. 4 - MONSERRAT I	14.6530	-90.5777	1632.32	1428.05	24.00	116.00	1516.32	139.30	1493.02	12-Jul
Mixco	No. 2 - LA ESPERANZA	14.6766	-90.5699	1595.12	1217.12	10.00	345.10	1250.02	350.40	1244.72	13-Jul
Mixco	SACOJ CUIQUITIO	14.6941	-90.5515	1514.63	1064.63	20.00	392.00	1122.63	432.10	1082.53	13-Jul
Mixco	No. 9 - SAN FRANCISCO I	14.6640	-90.5812	1613.72	1205.72	22.50	329.00	1284.72	333.00	1280.72	13-Jul
Mixco	No. 9 - SAN JOSE LAS ROSAS	14.6647	-90.5888	1672.26	1396.26	24.00	163.65	1508.61	251.82	1420.44	14-Jul
Mixco	No. 8 - SAN JOSE LAS ROSAS	14.6737	-90.5846	1636.89	1324.89	24.00	293.70	1343.19	294.20	1342.69	14-Jul
Mixco	No. 9 - MONSERRAT II	14.6511	-90.5712	1622.56	1271.95	24.00	152.55	1470.01	177.40	1445.16	14-Jul
Mixco	No. 1 - PLANES DE MINERVA	14.6808	-90.5421	1514.33	1258.23	24.00	151.40	1362.93	163.50	1350.83	17-Jul
Mixco	No. 1 - LOMAS DEL BOSQUE	14.6701	-90.5517	1563.41	1251.41	24.00	296.80	1266.61	309.15	1254.26	17-Jul
Mixco	INTERSECCION NARANJO	14.6721	-90.5549	1557.62	1197.62	24.00	328.50	1229.12	345.00	1212.62	17-Jul

Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodo de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Villa Nueva	MAESTRO DELITA	14.5349	-90.6076	1429.88	1125.00	24.00	164.90	1264.98	165.70	1264.18	24-Jul
Villa Nueva	SANTA CLARA	14.5351	-90.6024	1419.51	1193.90	24.00	150.10	1269.41	150.80	1268.71	24-Jul
Villa Nueva	LA IGLESIA	14.5414	-90.6156	1469.21	1164.33	24.00	200.50	1268.71	202.40	1266.81	24-Jul
Villa Nueva	TERMIBUS	14.5489	-90.6249	1489.02	1179.57	24.00	174.90	1314.12	267.60	1221.42	24-Jul
Villa Nueva	TIERRA DE PROMISION II	14.5506	-90.5991	1429.57	1185.67	9.00	124.30	1305.27	126.40	1303.17	24-Jul
Villa Nueva	SAN JOSE LA LAGUNA	14.5524	-90.5956	1432.93	1278.05	24.00	125.30	1307.63	151.60	1281.33	24-Jul
Villa Nueva	No. 1 - PLANES DE VILLA NUEVA	14.5180	-90.5709	1300.00	1112.50	24.00	120.10	1179.90	140.70	1159.30	30-Jul
Villa Nueva	No. 2 - PLANES DE VILLA NUEVA	14.5188	-90.5719	1323.48	1079.57	24.00	134.40	1189.08	167.30	1156.18	30-Jul
Villa Nueva	FRUTAL – PANORAMICA	14.5128	-90.5683	1271.95	997.56	24.00	93.80	1178.15	114.60	1157.35	30-Jul
Villa Nueva	COLONIA SAN ANTONIO	14.5091	-90.5648	1313.41	1133.54	24.00	87.00	1226.41	172.80	1140.61	30-Jul
Villa Nueva	No. 1 – ENRIQUETA	14.5256	-90.5751	1255.18	1108.84	24.00	75.50	1179.68	115.00	1140.18	30-Jul
Villa Nueva	No. 1 - SAN MIGUELITO	14.5245	-90.5785	1351.22	1046.34	24.00	122.40	1228.82	138.40	1212.82	31-Jul
Villa Nueva	MARIANITA	14.5283	-90.5760	1287.80	1104.88	24.00	60.40	1227.40	65.50	1222.30	31-Jul
Villa Nueva	LAS ORQUIDEAS	14.5178	-90.5810	1318.60	1131.10	24.00	141.40	1177.20	172.50	1146.10	31-Jul
Villa Nueva	TABLONCITO	14.5257	-90.5815	1350.30	1156.71	24.00	126.00	1224.30	159.20	1191.10	31-Jul
Villa Nueva	No. 2 - SAN FRANCISCO	14.5175	-90.5933	1350.61	1138.72	25.00	150.20	1200.41	158.72	1191.89	7-Aug
Villa Nueva	No. 1 - SAN FRANCISCO	14.5177	-90.5938	1353.35	1127.74	26.00	154.30	1199.05	161.10	1192.25	7-Aug
Villa Nueva	MANANTIAL	14.5171	-90.5918	1341.46	1097.56	27.00	139.80	1201.66	140.00	1201.46	7-Aug
Villa Nueva	No. 2 - ETERNA PRIMAVERA	14.4956	-90.5933	1376.83	1132.93	24.00	158.70	1218.13	161.00	1215.83	7-Aug
Villa Nueva	No. 1 - ETERNA PRIMAVERA	14.4957	-90.5936	1371.95	1189.02	24.00	163.70	1208.25	166.40	1205.55	7-Aug

Villa Nueva	LA PAZ	14.5072	-90.5956	1465.85	1008.54	15.00	261.60	1204.25	261.80	1204.05	7-Aug
Villa Nueva	No. 1 - SANTA ISABEL I	14.5269	-90.5994	1394.51	1150.61	7.00	203.20	1191.31	203.25	1191.26	7-Aug
Villa Nueva	No. 2 - SANTA ISABEL I	14.5185	-90.6033	1496.95	1167.68	22.00	257.30	1239.65	261.78	1235.17	7-Aug
Villa Nueva	No. 2 - SANTA ISABEL II	14.5236	-90.6061	1450.30	1145.43	24.00	250.20	1200.10	251.05	1199.25	14-Aug
Villa Nueva	No. 1 - SANTA ISABEL II	14.5243	-90.6070	1435.67	1146.95	24.00	240.00	1195.67	240.60	1195.07	14-Aug
Villa Nueva	No. 3 - SANTA ISABEL III	14.5244	-90.6058	1468.90	1167.07	24.00	241.00	1227.90	245.00	1223.90	14-Aug

B. Tabla de datos para la creación de perfiles y redes de flujo en el software QGIS época lluviosa.

Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodos de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Santa Catarina Pinula	LA CEIBA 2	14.57102	-90.49605	1556	1069	24	146	1411	148	1408	23-Oct
Santa Catarina Pinula	EL ESTADIO	14.567507	-90.50112	1556	1076	24	152	1404	167	1389	23-Oct
Santa Catarina Pinula	EL RASTRO	14.571382	-90.49776	1558	1284	24	155	1403	163	1396	23-Oct
Santa Catarina Pinula	EL CEMENTERIO 1	14.57387	-90.49632	1585	1310	24	212	1373	208	1377	23-Oct
Santa Catarina Pinula	EL HUISITAL	14.567546	-90.4934	1578	1334	24	208	1370	203	1374	23-Oct
Santa Catarina Pinula	EL JORDAN	14.552494	-90.50496	1482	1238	24	198	1285	202	1280	23-Oct
Santa Catarina Pinula	SECTOR IV	14.551776	-90.50848	1456	1060	24	258	1198	270	1186	23-Oct
Santa Catarina Pinula	LA CUCHILLA - LA ESCUELA No. 823	14.562548	-90.51834	1456	1192	24	214	1243	214	1242	23-Oct

Santa Catarina Pinula	LA ARBOLEDA	14.54798	-90.517784	1393	1149	24	86	1307	93	1299	23-Oct
Santa Catarina Pinula	SECTOR VI	14.542377	-90.51611	1358	901	24	102	1256	124	1234	23-Oct
Santa Catarina Pinula	LA SALVADORA I	14.545349	-90.49842	1486	1248	24	104	1382	126	1360	23-Oct
Santa Catarina Pinula	ARCO AZUL	14.558782	-90.46423	1880	1423	24	267	1613	267.9	1612	24-Oct
Santa Catarina Pinula	EL CANCHON	14.529581	-90.46814	1916	1511	24	228	1688	228	1688	24-Oct
Santa Catarina Pinula	EL MANZANO I - LA IGLESIA	14.592186	-90.432785	1682	1429	26	246	1436	246.4	1435	24-Oct
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodos de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
San Miguel Petapa	SECTOR 9-19	14.523598	-90.55	1267	1117	18	47	1220	65	1202	30-Oct
San Miguel Petapa	LAS MARGARITAS	14.502168	-90.567894	1284	1135	24	102	1182	129	1155	31-Oct
San Miguel Petapa	SECTOR 3	14.523985	-90.543017	1257	1044	18	61	1196	111	1146	30-Oct
San Miguel Petapa	ARTESANAL EL NARANJO 2	14.523544	-90.5367	1260	1238	24	21	1239	21	1239	30-Oct
San Miguel Petapa	BOMBEROS SAN MIGUEL PETAPA	14.504796	-90.56023	1264	1081	24	97	1167	169	1094	31-Oct
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodos de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Villa Canales	HINCAPIE	14.559175	-90.52462	1295	1178	24	96	1199	100	1195	4-Nov

Villa Canales	LA ROCA	14.540674	-90.524315	1367	1199	24	75	1292	98	1270	4-Nov
Villa Canales	EL CAMPO	14.550555	-90.52214	1385	1277	24	82	1303	107	1279	4-Nov
Villa Canales	EL ROSARIO	14.557099	-90.51245	1452	1254	24	178	1274	182	1270	4-Nov
Villa Canales	EL CAFETAL	14.538206	-90.53197	1370	1232	24	74	1296	91	1278	7-Nov
Villa Canales	EL MATAZANO	14.541083	-90.52315	1359	1191	24	82	1277	119	1241	4-Nov
Villa Canales	MORANCITO I	14.509581	-90.511487	1224	1110	24	23	1201	65	1159	13-Nov
Villa Canales	LAS FLORES	14.545752	-90.52396	1366	1186	24	61	1306	64	1303	7-Nov
Villa Canales	AGUA SANTA	14.544475	-90.52891	1359	1115	24	79	1280	87	1272	7-Nov
Villa Canales	PUESTO DE SALUD - EL PORVENIR	14.539249	-90.513	1367	1092	24	74	1293	81	1286	7-Nov
Villa Canales	SALOMON	14.543844	-90.50599	1331	1043	24	261	1070	290	1041	7-Nov
Villa Canales	EL CEMENTERIO	14.532169	-90.508804	1466	1262	24	182	1285	187	1279	7-Nov
Villa Canales	CHICHIMECAS	14.49662	-90.523975	1391	1241	24	112	1278	113	1278	7-Nov
Villa Canales	EL DURAZNO	14.477556	-90.48998	1796	1580	16	178	1618	219	1577	13-Nov
Villa Canales	EL DURAZNO 2	14.476427	-90.49118	1809	1635	24	176	1634	196	1613	13-Nov
Villa Canales	MORANCITO II	14.487556	-90.53452	1205	1079	24	25	1181	42	1163	13-Nov
Villa Canales	SAN CRISTOBAL	14.428908	-90.495575	1498	1133	4	201	1298	220	1278	14-Nov
Villa Canales	LOS LLANOS - LOS ALAMOS	14.360067	-90.546036	1191	921	14	243	948	248	943	14-Nov
Villa Canales	JOCOTILLO I No. 1	14.362511	-90.49864	1118	1048	24	53	1065	56	1062	14-Nov
Villa Canales	EL ZAPOTE - SANTA DELFINA	14.477133	-90.535255	1225	1155	24	17	1208	20	1205	13-Nov
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodos de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento
Mixco	No. 1 - LA CIENAGA 2	14.632507	-90.634285	2087	2081		3	2084	3	2084	29-Nov
Mixco	No. 2 - LA CIENAGA 2	14.632437	-90.63444	2109	2105		2	2107	2	2107	29-Nov

Mixco	No. 1 - LA CIENAGA 1	14.632983	-90.64171	2127	2115		9	2118	9	2118	29-Nov
Mixco	No. 2 - LA CIENAGA 1 - SAN ANDRES	14.633041	-90.64169	2122	2111		10	2112	10	2112	29-Nov
Mixco	No. 3 - LA CIENAGA 1 - SANTA FE	14.632885	-90.641685	2093	2086		5	2088	5	2088	29-Nov
Mixco	No. 8 - LA CIENAGA 1 - SANTA FE	14.632895	-90.641695	2094	2086		6	2088	6	2088	29-Nov
Mixco	No. 7 - LA CIENAGA 1	14.632794	-90.64135	2080	2073		5	2075	5	2075	29-Nov
Mixco	No. 6 - LA CIENAGA 1	14.632916	-90.64082	2111	2102		8	2103	8	2103	29-Nov
Mixco	No. 5 - LA CIENAGA 1	14.632878	-90.64067	2163	2156		6	2157	6	2157	29-Nov
Mixco	No. 4 - LA CIENAGA 1	14.632755	-90.640526	2076	2067		8	2068	8	2068	29-Nov
Mixco	No. 3 - LA CIENAGA 1 - 2	14.632871	-90.64026	2177	2170		6	2170	6	2170	29-Nov
Mixco	No. 2 - LA CIENAGA 1 - 2	14.632885	-90.63994	2154	2147		6	2149	6	2149	29-Nov
Mixco	No. 1 - LA CIENAGA 1 - 2	14.632882	-90.63974	2056	2049		5	2050	5	2050	29-Nov
Mixco	No. 3 - LA CIENAGA 1 - 3	14.632586	-90.63948	2106	2092		13	2092	13	2092	29-Nov
Mixco	No. 4 - LA CIENAGA 1 - 3	14.63314	-90.63902	2078	2067		11	2067	11	2067	29-Nov
Mixco	No. 5 - LA CIENAGA 1 - 3	14.632716	-90.63922	2155	2145		9	2146	9	2146	29-Nov

Mixco	No. 6 - LA FEDERAL	14.635254	-90.60923	1760	1402	24	313	1447	339	1421	19-Nov
Mixco	No. 1 - PARQUECITO	14.630671	-90.60088	1698	1492	6	168	1530	184	1514	19-Nov
Mixco	No. 1 - 1RO JULIO	14.66668	-90.57319	1614	1435	24	114	1501	149	1465	22-Nov
Mixco	No. 6 - 1RO JULIO	14.669047	-90.573555	1578	1270	24	229	1349	262	1316	22-Nov
Mixco	No. 9 - 1RO JULIO	14.674984	-90.56317	1590	1229	24	300	1290	323	1268	22-Nov
Mixco	No. 4 - 1RO JULIO	14.664308	-90.573845	1609	1272	24	104	1505	145	1464	22-Nov
Mixco	No. 4 - EL PARQUE CENTRAL	14.630096	-90.605934	1755	1548	24	165	1590	184	1572	19-Nov
Mixco	No. 3 - CORONA DE JUSTICIA	14.632663	-90.614456	1824	1670	24	142	1683	148	1676	19-Nov
Mixco	No. 1 - SECTOR LAS VACAS	14.617906	-90.60331	1688	1480	24	155	1533	194	1495	19-Nov
Mixco	No. 2 - NUEVO - PUENTE JORGE SURQUE	14.627565	-90.60186	1723	1236	24	182	1541	340	1384	19-Nov
Mixco	No. 7. - CALZADA 4 DE FEBRERO	14.627158	-90.60635	1712	1343	15	150	1562	184	1528	19-Nov
Mixco	MATEO FLORES	14.628327	-90.59996	1690	1285	24	153	1538	165	1525	19-Nov
Mixco	No. 1 - EL MOLINO	14.632749	-90.59587	1652	1492	24	132	1519	141	1511	20-Nov
Mixco	No. 3 - EL MOLINO	14.634628	-90.59488	1688	1358	24	201	1487	279	1409	20-Nov
Mixco	No. 2 - SANTA RITA	14.626646	-90.57455	1582	1361	24	143	1439	182	1400	20-Nov
Mixco	No. 1 - MZ C - Z 3	14.637481	-90.58291	1661	1451	24	151	1510	152	1509	20-Nov
Mixco	No. 10 -MONSER-RAT I	14.655501	-90.57153	1632	1199	16	287	1344	330	1302	21-Nov
Mixco	No. 1 - SAN IGNACIO	14.641402	-90.604614	1725	1514	24	154	1571	192	1533	24-Nov
Mixco	No. 1 - NIMAJAY	14.646055	-90.60365	1711	1548	24	114	1597	146	1565	24-Nov
Mixco	No. 3 - SAN IGNACIO	14.641894	-90.60274	1698	1320	24	290	1408	338	1360	24-Nov
Mixco	No. 1 - EL PARAISO I	14.644837	-90.59609	1673	1436	24	184	1489	218	1455	24-Nov

Mixco	No. 5 - LA BRIGADA	14.651802	-90.59523	1618	1278	24	264	1355	320	1298	24-Nov
Mixco	No. 3 - LA COMUNAL - LA BRIGADA	14.650099	-90.59414	1673	1443	24	180	1493	213	1460	24-Nov
Mixco	No. 1 - BELENCITO	14.646551	-90.58744	1662	1392	12	150	1512	187	1475	24-Nov
Mixco	No. 2 - BELENCITO	14.648658	-90.58649	1651	1286	14	308	1343	347	1304	24-Nov
Mixco	No. 4 - SAN JOSE LOS PINOS	14.655198	-90.604225	1726	1366	24	331	1395	333	1393	22-Nov
Mixco	No. 2 - ALAMEDAS DE YUMAR	14.667557	-90.60593	1743	1462	15	276	1466	278	1464	22-Nov
Mixco	No. 1 - VALLE DEL SOL	14.644438	-90.56743	1605	1390	20	135	1470	155	1450	21-Nov
Mixco	No. 2 - VALLE DEL SOL	14.646783	-90.56557	1587	1203	20	236	1350	239	1348	21-Nov
Mixco	No. 3 - BULEVAR SAN NICOLAS - 1 NUEVO	14.645408	-90.56874	1577	1277	24	182	1395	240	1337	21-Nov
Mixco	No. 7 - NUEVA MONSERRAT - Z 3	14.640444	-90.568924	1605	1228	20	206	1398	238	1367	21-Nov
Mixco	No. 3 - MONTE REAL	14.648444	-90.57071	1588	1266	24	227	1361	289	1299	21-Nov
Mixco	No. 6 - NUEVA MONSERRAT - Z 3	14.642179	-90.57664	1636	1240	24	254	1382	316	1320	21-Nov
Mixco	No. 8 - MONSERRAT I	14.651281	-90.5798	1646	1295	24	266	1380	303	1343	22-Nov
Mixco	No. 4 - MONSERRAT I	14.653014	-90.57771	1632	1428	24	102	1531	122	1510	22-Nov
Mixco	No. 2 - LA ESPERANZA	14.676564	-90.56988	1595	1217	10	348	1247	352	1244	23-Nov

Mixco	SACIJ CUIQUITIO	14.694089	-90.55154	1515	1065	20	393	1122	412	1103	23-Nov
Mixco	No. 9 - SAN FRAN-CISCO I	14.663978	-90.581245	1614	1206	23	355	1259	370	1244	23-Nov
Mixco	No. 9 - SAN JOSE LAS ROSAS	14.664729	-90.58882	1672	1396	24	161	1511	265	1407	23-Nov
Mixco	No. 8 - SAN JOSE LAS ROSAS	14.67366	-90.58462	1637	1325	24	293	1344	295	1342	23-Nov
Mixco	No. 1 - PLANES DE MINERVA	14.680762	-90.54212	1514	1258	24	267	1247	270	1244	27-Nov
Mixco	No. 1 - LOMAS DEL BOSQUE	14.670121	-90.55166	1563	1251	24	278	1285	309	1254	27-Nov
Mixco	No. 2 - JARDINES DE MINERVA II	14.675335	-90.555885	1565	1241	24	278	1287	286	1279	27-Nov
Mixco	No. 1 - JARDINES DE MINERVA I	14.680525	-90.53461	1511	1169	24	253	1258	263	1249	27-Nov
Mixco	No. 2 - PLANES DE MINERVA	14.682529	-90.54613	1509	1227	2	283	1225	285	1224	27-Nov
Mixco	INTERSECCION NARANJO	14.672102	-90.55489	1558	1198	24	330	1227	346	1212	27-Nov
Mixco	No. 1 - CIUDAD SATELITE	14.584408	-90.60773	1591	1409	17	156	1435	156	1435	27-Nov
Mixco	No. 3 - CIUDAD SATELITE - CENTRO DE SALUD	14.58317	-90.60842	1586	1228	17	139	1447	139	1447	27-Nov
Municipio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura msnm	Profundidad en msnm	Periodos de trabajo del pozo - hrs al día	Nivel estático	Nivel estático msnm	Nivel dinámico	Nivel dinámico msnm	Fecha del levantamiento

Villa Nueva	MAESTRO DELITA	14.534861	-90.60761	1430	1125	24	165	1265	167	1263	4-Dec
Villa Nueva	SANTA CLARA	14.535056	-90.602363	1420	1194	24	151	1269	152	1268	4-Dec
Villa Nueva	LA ESPERANZA	14.534418	-90.62099	1468	1011		200	1268	199	1269	4-Dec
Villa Nueva	TERMIBUS	14.548861	-90.624886	1489	1180	24	170	1319	260	1229	4-Dec
Villa Nueva	CABRINI	14.544255	-90.61403	1469	1109		208	1261	209	1260	4-Dec
Villa Nueva	JACARANDAS	14.543426	-90.59898	1421	1146		127	1294	128	1292	4-Dec
Villa Nueva	TIERRA DE PROMI- SION II	14.550632	-90.59906	1430	1186	9	125	1305	127	1303	4-Dec
Villa Nueva	SAN JOSE LA LA- GUNA	14.552448	-90.59561	1433	1278	24	126	1307	152	1281	4-Dec
Villa Nueva	No. 1 - RESIDENCIA- LES MONTE MARIA	14.575748	-90.561005	1469	1194	17	176	1293	223	1246	4-Dec
Villa Nueva	No. 2 - PRADOS DE MONTE MARIA	14.56885	-90.55937	1439	1134	24	141	1299	244	1195	4-Dec
Villa Nueva	No. 2 - PLANES DE VILLA NUEVA	14.518815	-90.571884	1323	1080	24	134	1190	168	1156	11-Dec
Villa Nueva	FRUTAL - PAN- ORAMICA	14.512817	-90.56829	1272	998	24	93	1179	113	1159	11-Dec
Villa Nueva	COLONIA SAN AN- TONIO	14.509104	-90.56476	1313	1134	24	84	1229	162	1151	11-Dec
Villa Nueva	No. 1 - ENRIQUETA	14.525633	-90.575096	1255	1109	24	75	1180	118	1137	10-Dec
Villa Nueva	PARQUE CENTRAL	14.525018	-90.58824	1344	1115	24	147	1196	152	1191	10-Dec
Villa Nueva	No. 1 - SAN MI- GUELITO	14.524479	-90.57845	1351	1046	24	123	1228	138	1213	10-Dec
Villa Nueva	No. 2 - SAN MI- GUELITO	14.521356	-90.57895	1321	1016		127	1194	136	1185	10-Dec

Villa Nueva	LAS ORQUIDEAS	14.517797	-90.58102	1319	1131	24	141	1177	171	1147	10-Dec
Villa Nueva	TABLONCITO	14.525683	-90.581505	1350	1157	24	130	1220	161	1190	11-Dec
Villa Nueva	APSA	14.532299	-90.585625	1358	1123		143	1215	195	1163	11-Dec
Villa Nueva	No. 2 - SAN FRAN-CISCO	14.517507	-90.593315	1351	1139	25	150	1201	159	1192	12-Dec
Villa Nueva	No. 1 - SAN FRAN-CISCO	14.517747	-90.59379	1353	1128	26	154	1199	161	1192	12-Dec
Villa Nueva	MANANTIAL	14.517115	-90.59183	1341	1098	27	140	1202	140	1201	12-Dec
Villa Nueva	No. 2 - ETERNA PRIMAVERA	14.495636	-90.59325	1377	1133	24	159	1218	162	1215	12-Dec
Villa Nueva	No. 1 - ETERNA PRIMAVERA	14.495662	-90.593575	1372	1189	24	164	1208	166	1206	12-Dec
Villa Nueva	LA PAZ	14.507195	-90.59559	1466	1009	15	261	1205	262	1204	12-Dec
Villa Nueva	No. 1 - SANTA ISABEL I	14.526881	-90.59935	1395	1151	7	203	1192	203	1192	12-Dec
Villa Nueva	No. 2 - SANTA ISABEL I	14.518545	-90.60326	1497	1168	22	259	1238	261	1236	12-Dec
Villa Nueva	No. 2 - SANTA ISABEL II	14.523606	-90.6061	1450	1145	24	250	1200	251	1199	12-Dec
Villa Nueva	No. 1 - SANTA ISABEL II	14.524301	-90.60702	1436	1147	24	240	1196	241	1195	12-Dec
Villa Nueva	No. 3 - SANTA ISABEL III	14.524446	-90.60576	1469	1167	24	241	1228	245	1224	12-Dec

LISTADO DE MAPAS

(CD adjunto)

1. Distribución de pozos municipales de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
2. Líneas de flujo de aguas subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del año 1978.
3. Líneas de flujo de aguas subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época seca 2018.
4. Distribución piezométrica de agua subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época seca 2018.
5. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán. Época seca 2018.
6. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán. Época seca 2018 perfiles 1 y 2.
7. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán. Época seca 2018 perfil 3.
8. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca 2018.
9. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca 2018 perfiles 1 y 2.
10. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca 2018 perfiles 3 y 4.
11. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca 2018 perfiles 5 y 6.
12. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca 2018 perfil 7.
13. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época seca 2018.
14. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época seca 2018.

15. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa. Época seca 2018.
16. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa. Época seca 2018.
17. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época seca 2018.
18. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época seca 2018.
19. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca 2018.
20. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca 2018 perfiles 1 y 2.
21. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca 2018 perfiles 3 y 4.
22. Distribución de pozos municipales de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época lluviosa 2018.
23. Líneas de flujo de aguas subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época lluviosa 2018.
24. Distribución piezométrica de agua subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época lluviosa 2018.
25. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán. Época lluviosa 2018.
26. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán. Época lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
27. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatitlán. Época lluviosa 2018 perfil 3.
28. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época lluviosa 2018.
29. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.

30. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época lluviosa 2018 perfiles 3 y 4.
31. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época lluviosa 2018 perfiles 5 y 6.
32. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época lluviosa 2018 perfiles 7 y 8.
33. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época lluviosa 2018 perfil 9.
34. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época lluviosa 2018.
35. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
36. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época lluviosa 2018 perfil 3.
37. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa. Época lluviosa 2018.
38. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa. Época lluviosa 2018.
39. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época lluviosa 2018.
40. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
41. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época lluviosa 2018 perfil 3.
42. Líneas de flujo de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época lluviosa 2018.
43. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
44. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época lluviosa 2018 perfiles 3 y 4.
45. Distribución piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época lluviosa 2018 perfil 5.

46. Comparación piezométrica de aguas subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época seca y lluviosa 2018.
47. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatlán. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
48. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatlán. Época seca y lluviosa 2018 perfil 3.
49. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
50. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 3 y 4.
51. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 5 y 6.
52. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 7 y 8.
53. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfil 9.
54. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
55. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época seca y lluviosa 2018 perfil 3.
56. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa. Época seca y lluviosa 2018.
57. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
58. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época seca y lluviosa 2018 perfil 3.
59. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
60. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 3 y 4.
61. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca y lluviosa 2018 perfil 5.

62. Comparación piezométrica de aguas subterráneas de los municipios que pertenecen a Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Época seca y lluviosa 2018.
63. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatlán. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
64. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Amatlán. Época seca y lluviosa 2018 perfil 3.
65. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
66. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 3 y 4.
67. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 5 y 6.
68. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 7 y 8.
69. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Mixco. Época seca y lluviosa 2018 perfil 9.
70. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
71. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Santa Catarina Pinula. Época seca y lluviosa 2018 perfil 3.
72. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de San Miguel Petapa. Época seca y lluviosa 2018.
73. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
74. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Canales. Época seca y lluviosa 2018 perfil 3.
75. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 1 y 2.
76. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca y lluviosa 2018 perfiles 3 y 4.
77. Comparación piezométrica de aguas subterráneas del municipio de Villa Nueva. Época seca y lluviosa 2018 perfil 5.

C. Boleta de pozos de agua potable

Boleta para entrevista en los pozos

[illegible]



FUNCAGUA
por la vida

Guatemala, marzo 2019