



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio geohidrológico para profundizar o reubicar un
pozo de agua en el poblado de Santa Rosa Xajay, en el
estado de Querétaro**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Ricardo Morales Delgadillo

ASESOR DE INFORME

Ing. Jose Luis Jiménez Mendoza



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026

Contenido

INDICE DE IMAGENES	4
--------------------------	---

INTRODUCCIÓN	7
--------------------	---

CAPITULO 1	9
------------------	---

MARCO TEÓRICO	9
Definiciones	9
TIPOS DE ACUÍFEROS.....	11
Características de los acuíferos.....	13
Recarga y Descarga de acuíferos	16
Método eléctrico	19

CAPITULO 2.....	25
-----------------	----

MARCO GEOGRÁFICO	25
LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	25
POBLACIÓN, USO DE SUELO Y VEGETACION	27
Fisiografía	28
Hidrología.....	33
Clima.....	35
Geología.....	36

CAPITULO 3.....	40
-----------------	----

GEOHIDROLOGIA	40
Comportamiento de las Cuencas Hidrológicas.....	40

Evolución de los Niveles del Agua Subterránea.....	40
Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea	42
Explotación y Uso del Agua Subterránea	42
Uso de Agua Subterránea.....	44
 CAPITULO 4.....	 46
EXPLORACIÓN GEOFÍSICA, ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE DATOS.	46
Metodología.....	46
Trabajo de campo.....	47
Análisis e interpretación de datos.	51
Modelos Inversos.....	56
Perfiles Geoelectricos	58
 CAPITULO 5.....	 62
RESULTADOS	62
RECOMENDACIONES	66
CONCLUSION.....	67
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 68

INDICE DE IMAGENES

<i>Figura. 1 Ciclo hidrológico, tomado de agua subterráneas-acuíferos SGL, 2011.</i>	9
<i>Figura. 2 Distribución del agua subterránea. La forma del nivel freático suele ser una réplica de la suavizada de la topografía superficial, tomado de Tarbuck y Lutgens, 2013. 10</i>	
<i>Figura 3 Representación de un acuífero, tomado de pozo profundos y artesanos HI, 2010.</i>	11
<i>Figura 4 Tipos de acuíferos según las características texturales, tomado de Sistema Integrado de Información del Agua.</i>	12
<i>Figura 5 Tipos de acuíferos, según su comportamiento, tomado de Martínez et al., 2006.</i>	13
<i>Figura 6 Ejemplos de porosidad, tomado de F. Javier Sánchez San Román Dpto. Geología Univ. Salamanca</i>	14
<i>Figura 7 Ejemplo de permeabilidad, en la imagen (A) vemos que los espacios intergranulares están conectados y pasa el agua, en la imagen (B) vemos que en los espacios intergranulares de las arenas hay presencia de arcilla eso hace que absorban el agua y no la dejen circular, tomado de agua subterráneas-acuíferos, SGL, 2011.....</i>	15
<i>Figura 8 El gradiente hidráulico se determina midiendo la diferencia de elevación entre dos puntos del nivel freático, los pozos se utilizan para determinar la altura del nivel freático, tomado de Tarbuck y Lutgens, 2013.</i>	16
<i>Figura 9 Infiltración natural, posibles caminos que sigue el agua hasta el sitio de descarga, tomado de Luis F. Rebollo, 2018</i>	17
<i>Figura 10 Descarga de acuíferos y formación del cono de abatimiento, tomado de aprovechamiento de agua subterránea, aquabook, 2016.</i>	18
<i>Figura 11 Arreglo de Electrodos tipo Schlumberger, A y B electrodos de corriente, M y N electrodos de potencial y 0 punto de investigación, tomado de (GTK Laboratorio Geotécnico en Bilbao, 2022.).</i>	21
<i>Figura 12 Funcionamiento de los electrodos en el arreglo tipo Schlumberger, fuente: (Everest Geophysics, s.f.).</i>	22
<i>Figura 13 Datos de campo y grafica logarítmica ya corregida, tomado de (Cartomex, 2015).</i>	23
<i>Figura 14 Perfiles del Sondeo Eléctrico Vertical, tomado de (Cartomex, 2015).</i>	24

Figura 15 Mapa del municipio de San Juan del Río con los 10 poblados con más Habitantes.....	25
<i>Figura 16 Mapa del poblado de Santa Rosa Xajay.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 17 Mapa de la Vía de Acceso de San Juan del Río a Santa Rosa Xajay.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 18 Provincias Fisiográficas del estado de Querétaro.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 19 Evolución en la orientación de la FVT a través del tiempo, tomado de Universidad de Sonora, 2016.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 20 Mapa con la división de la FVT, el círculo muestra la zona de estudio, tomado de Luca Ferrari, 2005.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 21 Mapa Fisiográfico del municipio de San Juan del Río.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 22 Presas y ríos del municipio de San Juan del Río.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 23 Principales climas del municipio de San Juan del Río</i>	<i>36</i>
<i>Figura 24 Mapa geológico del municipio de San Juan del Río.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 25 Corte Geológico de Santa Rosa Xajay</i>	<i>39</i>
Figura 26 configuración de la elevación del nivel estático en msnm, en el círculo rojo se ubica la zona de estudio, modificado de Medina (2017).....	41
Figura 27 Pozos cercanos a Santa Rosa Xajay	43
Figura 28 afloramiento a un lado de la carretera antes de llegar al poblado de Santa Rosa Xajay, constituida de riolita pumítica.....	46
Figura 29 Pozo activo de la hacienda de Santa Rosa Xajay, midiendo la profundidad en donde se encuentra el nivel freático.....	47
Figura 30 Equipo geofísico utilizado para la toma de datos en la hacienda de Santa Rosa Xajay.....	48
<i>Figura 31 Mapa de la Hacienda de Santa Rosa Xajay, ubicación de los cuatro sondeos verticales realizados.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32 Posición del electrodo en el SEV – 1 para tomar datos.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33 Posición de los electrodos en el SEV – 3 para tomar datos.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 34 Posición de los electrodos en el SEV – 4 para tomar datos.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 35 Modelo Inverso del SEV-1.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 36 Modelo Inverso del SEV-2.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 37 Modelo Inverso del SEV-3.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 38 Modelo Inverso del SEV-4.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 39 Perfil Geoelectrico 1 del SEV – 4 al SEV – 1.....</i>	<i>59</i>

<i>Figura 40 Perfil Geoelectrico 2 del SEV – 4 al SEV – 2.....</i>	60
<i>Figura 41 Perfil Geoelectrico 2 del SEV – 4 al SEV – 3.....</i>	61
<i>Figura 42 Perfil de resultados SEV-4 a SEV-1, se propone profundizar el pozo actual de 85 a 220 m.....</i>	63
<i>Figura 43 Propuesta constructiva para la perforación de un nuevo pozo.</i>	64
<i>Figura 44 Perfil de resultados SEV – 4 a SEV – 2, propuesta de ubicación de un segundo pozo a una profundidad de 220 m.</i>	65
<i>Figura 45 Perfil de resultados SEV – 4 a SEV – 2, se propone hacer un pozo a una profundidad de 220 m.....</i>	66

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea abastece a poco más de la mitad de la población mundial y representa el 43% del agua utilizada para el riego. En México, de acuerdo con el informe de estadísticas del agua en México 2023, de los 653 acuíferos registrados se reportan 111 en condiciones de sobreexplotación, eso quiere decir que se extrae más agua de la que se puede recargar.

El estado de Querétaro es uno de los estados de la República que en los últimos años ha tenido un crecimiento económico acelerado, las industrias nacionales y extranjeras lo ven como una zona adecuada para establecer sus empresas, por que cuenta con excelente ubicación geográfica, vías de comunicación y una población con un crecimiento anual del 2.7 %, lo que se refleja en mano de obra abundante. Desde luego este crecimiento industrial, económico y de población exige una fuente confiable de agua para satisfacer las necesidades.

El municipio de San Juan del Río es el segundo más grande del estado de Querétaro, cuenta con 302 entidades que ocupan un 6.6 % del territorio estatal, siendo la ciudad de San Juan del Río una de las más poblada de este estado, donde la creación de nuevos polos de desarrollo a la par del crecimiento de infraestructura requiere de insumos básicos, por ejemplo el agua potable que se puede extraer del subsuelo.

El municipio de San Juan del Río ha tenido un cambio en los últimos años, dejó de ser una región agrícola para ser una zona industrial, lo que provoca un incremento en su población y extensión a tal grado que los pueblos cercanos han sido asimilados, tal es el caso de Santa Rosa Xajay.

Dentro del poblado de Santa Rosa Xajay se encuentra la Hacienda que dentro de su propiedad requiere agua para uso personal y terrenos de siembra, cuenta con un

pozo que no da abasto a todas las necesidades requeridas, por lo que han solicitado a PROMMACO un estudio hidrogeológico.

El objetivo primordial del estudio es incrementar la disponibilidad de agua subterránea mediante la profundización del pozo actual o bien, localizando un nuevo sitio para perforar un pozo que proporcione mayor caudal. Para ello debe conocerse la profundidad en la que se encuentra el agua por debajo del terreno propiedad de la hacienda, así como establecer la estratigrafía del sitio identificando las unidades productoras y su distribución en la zona que delimita el terreno de la Hacienda Santa Rosa Xajay.

En este trabajo se expone el método geofísico llamado Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) con arreglo Schlumberger, con los datos se crearon perfiles geoléticos y con base en la geología superficial se establecen las litologías en el subsuelo, se determina el nivel freático y así darles soluciones para que tengan abasto suficiente de agua que la Hacienda requiera.

CAPITULO 1

MARCO TEÓRICO

Definiciones

Ciclo Hidrológico: Al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea, (Sánchez San Román, 2022, p.1), (Figura 1).

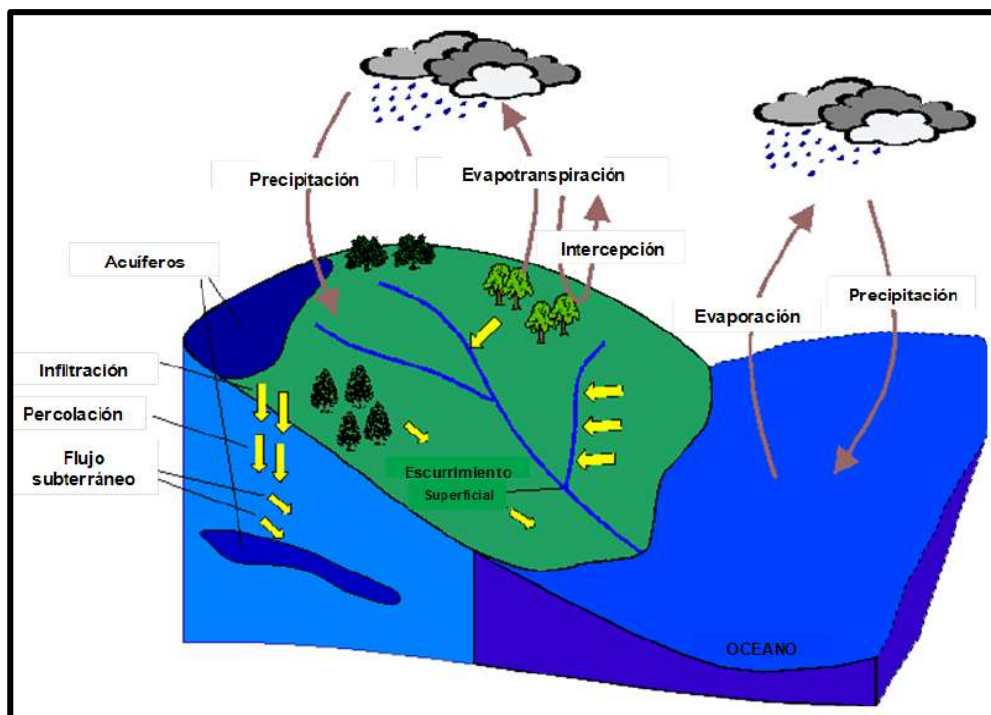


Figura. 1 Ciclo hidrológico, tomado de agua subterráneas-acuíferos SGL, 2011.

Agua Subterránea: Agua que satura por completo los poros o intersticios del subsuelo, (CONAGUA, 2023, p. 289).

Cinturón de humedad del suelo: agua retenida por la atracción molecular de las partículas del suelo en la zona más cercana a la superficie.

Zona vadosa o zona de aireación: Porción de la masa de suelo que se extiende entre la superficie y la parte superior del nivel freático. Los espacios están llenos parcialmente con agua y aire.

Franja de Capilar: Área de la zona saturada retenida por capilaridad justo sobre el nivel freático.

Zona de saturación: Es la parte del subsuelo en la que el agua llena completamente todos los poros o huecos de los materiales existentes, el límite superior de la zona se conoce como superficie o nivel freático, (, p.481). (Figura 2).

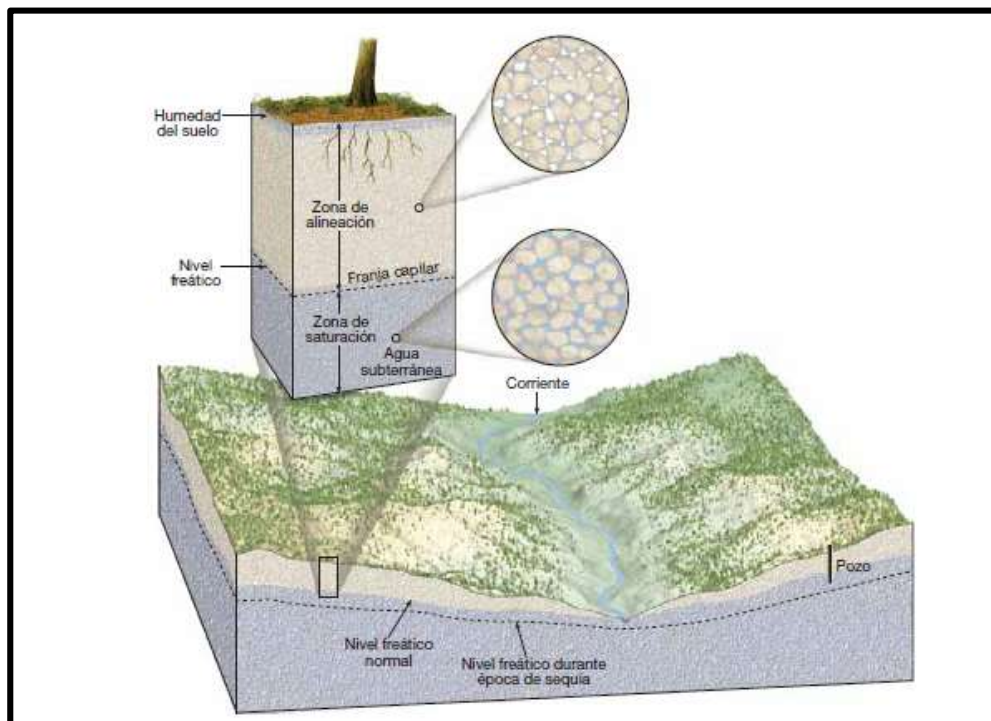


Figura. 2 Distribución del agua subterránea. La forma del nivel freático suele ser una réplica de la suavizada de la topografía superficial, tomado de Tarbuck y Lutgens, 2013.

Acuífero: Es una capa o secuencia de capas de roca o sedimento que comprende una o más formaciones geológicas que contiene agua y es capaz de transmitirla en cantidades significativas, (Sánchez San Román, 2022, p.1), (Figura 3).

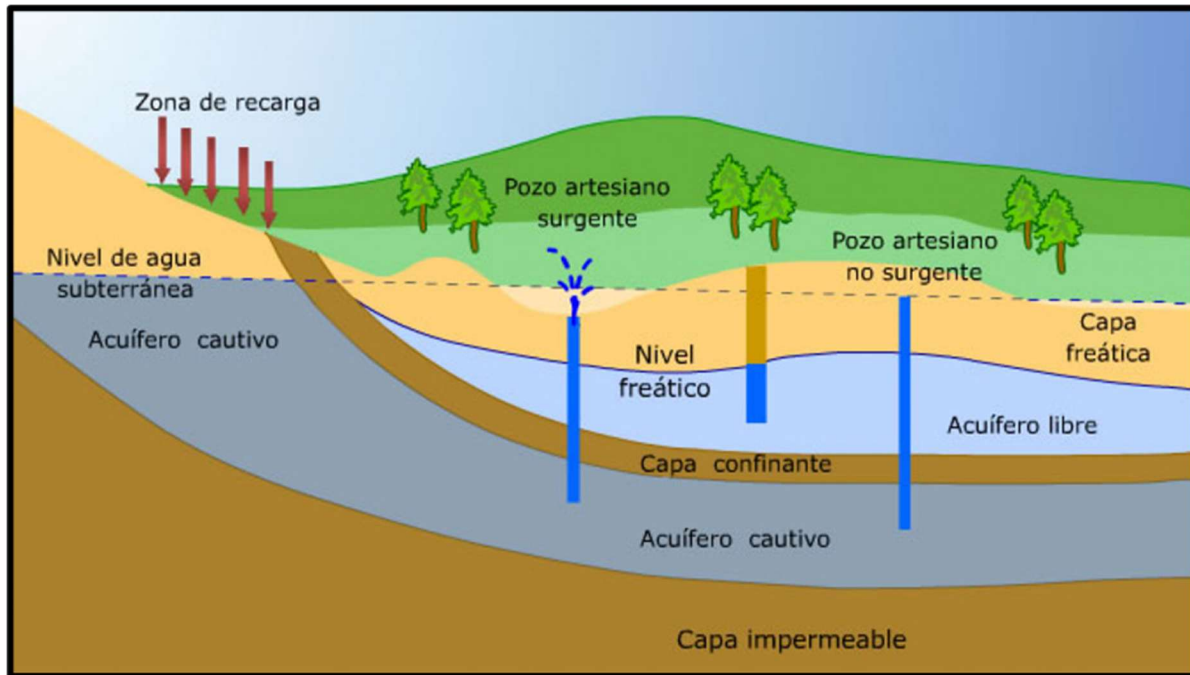


Figura 3 Representación de un acuífero, tomado de pozo profundos y artesanos HI, 2010.

TIPOS DE ACUÍFEROS

Existen numerosas clasificaciones de acuíferos, las más comunes se presentan a continuación con base en su textura, estructura y comportamiento.

De acuerdo con Villarroja (2009), se pueden clasificar texturalmente los acuíferos en 2 tipos. (Figura 4).

Acuíferos detríticos: son acuíferos de rocas o sedimentos detríticos. Su permeabilidad se debe a la porosidad intergranular.

Acuíferos fisurados y/o kársticos: son acuíferos en rocas carbonatadas o bien otro tipo de rocas que presenten diaclasado, fracturación y/o disolución. Poseen

permeabilidad debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución.

Acuíferos mixtos: su porosidad se debe a un conjunto de todas las anteriores causas. Un ejemplo pueden ser las arenas calcáreas o calcarenitas.

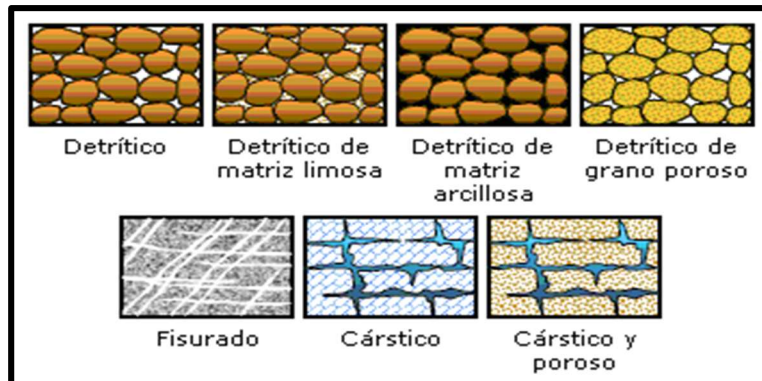


Figura 4 Tipos de acuíferos según las características texturales, tomado de Sistema Integrado de Información del Agua.

De acuerdo con Sánchez San Román (2022), se pueden clasificar estructuralmente los acuíferos en 2 tipos.

Acuícludo: formación geológica capaz de almacenar agua, pero que no permite su libre circulación.

Acuitardo: formación geológica capaz de almacenar agua, pero que la transmite con dificultad (Figura 5).

De acuerdo con Sánchez San Román (2022), se pueden clasificar en base a su comportamiento en 3 tipos (Figura 5).

Acuífero libre: Aquellos que su límite superior (la superficie freática) está a presión atmosférica.

Acuífero confinado o cautivo: El límite superior se encuentra a presión superior a la atmosférica: es una capa impermeable;

Acuífero semiconfinado: Son acuíferos a presión (por tanto entrarían en la definición anterior de acuíferos confinados), pero que alguna de las capas confinantes son semi permeables, acuitardos, y a través de ellas le llegan filtraciones o rezumes.

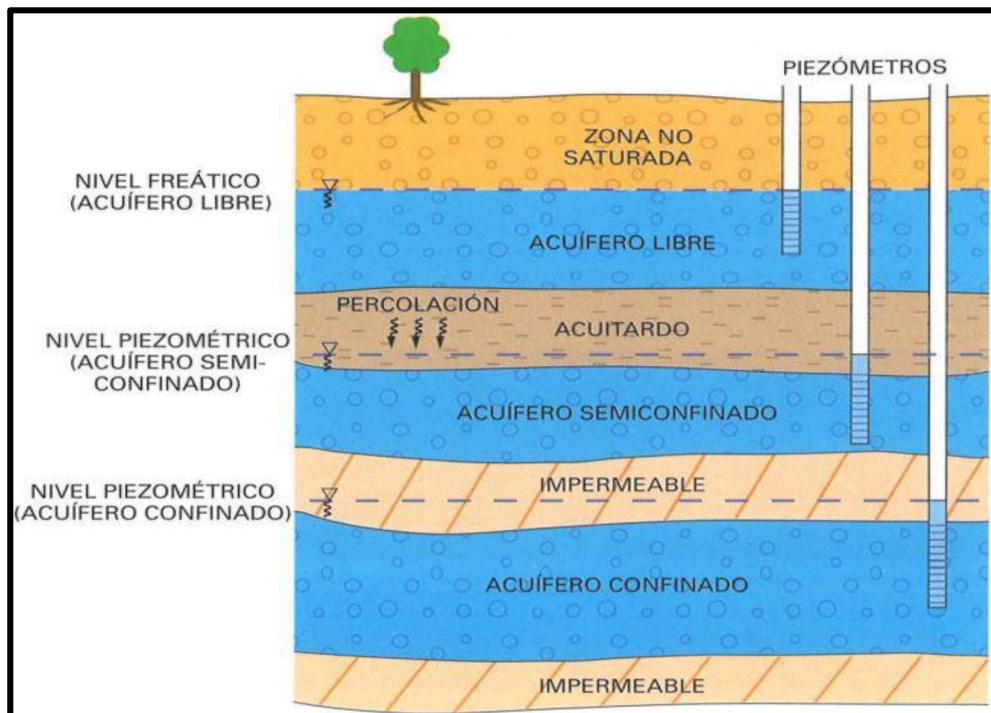


Figura 5 Tipos de acuíferos, según su comportamiento, tomado de Martínez et al., 2006.

Características de los acuíferos

Porosidad: Propiedad de los materiales que tienen espacios libres, se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del material (Figura 6). La porosidad, por sí sola, no puede medir la capacidad de un material para suministrar agua subterránea.

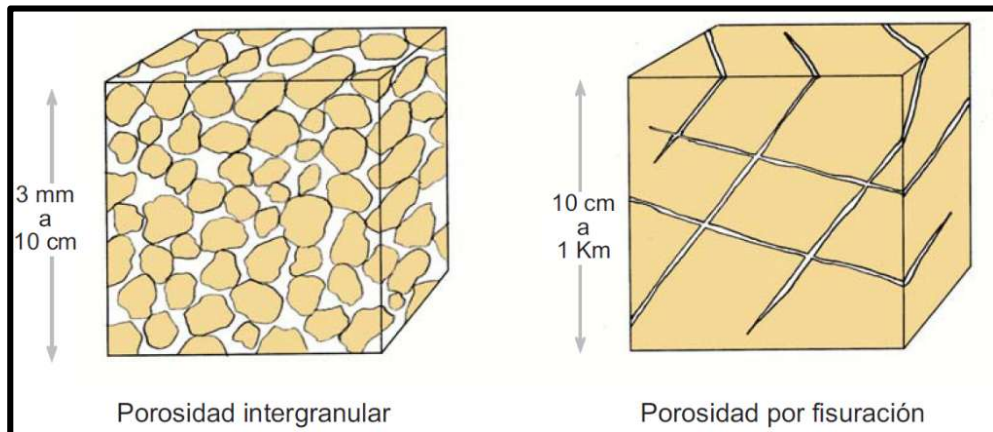


Figura 6 Ejemplos de porosidad, tomado de F. Javier Sánchez San Román Dpto. Geología Univ. Salamanca

Existen dos tipos de porosidad, primaria y secundaria. Se denomina porosidad primaria a la que se forma al mismo tiempo que la roca y la secundaria será cualquier abertura que se produzca posteriormente a la formación de la roca, (Sánchez San Román, 2022, p.3).

Permeabilidad: Medida de la capacidad de un material para transmitir agua, (Tarbuck y Lutgens, 2013, p.671), (Figura 7).

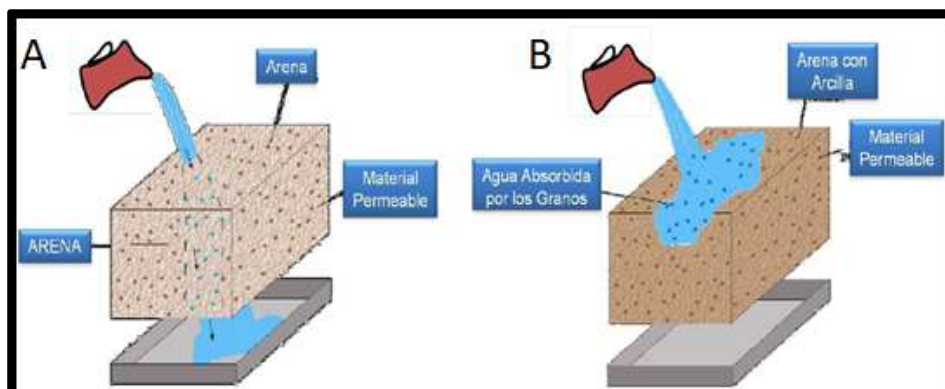


Figura 7 Ejemplo de permeabilidad, en la imagen (A) vemos que los espacios intergranulares están conectados y pasa el agua, en la imagen (B) vemos que en los espacios intergranulares de las arenas hay presencia de arcilla eso hace que absorban el agua y no la dejen circular, tomado de agua subterráneas-acuíferos, SGL, 2011.

Coeficiente de Almacenamiento: Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico o la presión, solamente se puede utilizar en acuíferos confinados y semiconfinados, (Tarbuck y Lutgens, 2013, p.487), (Figura 8).

Ley de Darcy: la velocidad del flujo del aguas subterráneas es proporcional a la pendiente del nivel freático (Gradiente hidráulico). (Figura 8)

La velocidad del flujo es proporcional con la permeabilidad del material, mayor permeabilidad mayor velocidad (Conductividad hidráulica, considera la permeabilidad y la viscosidad del fluido).

El caudal que fluye por una sección del acuífero en un momento determinado es:

$$Q = KA \frac{(h_1 - h_2)}{d}$$

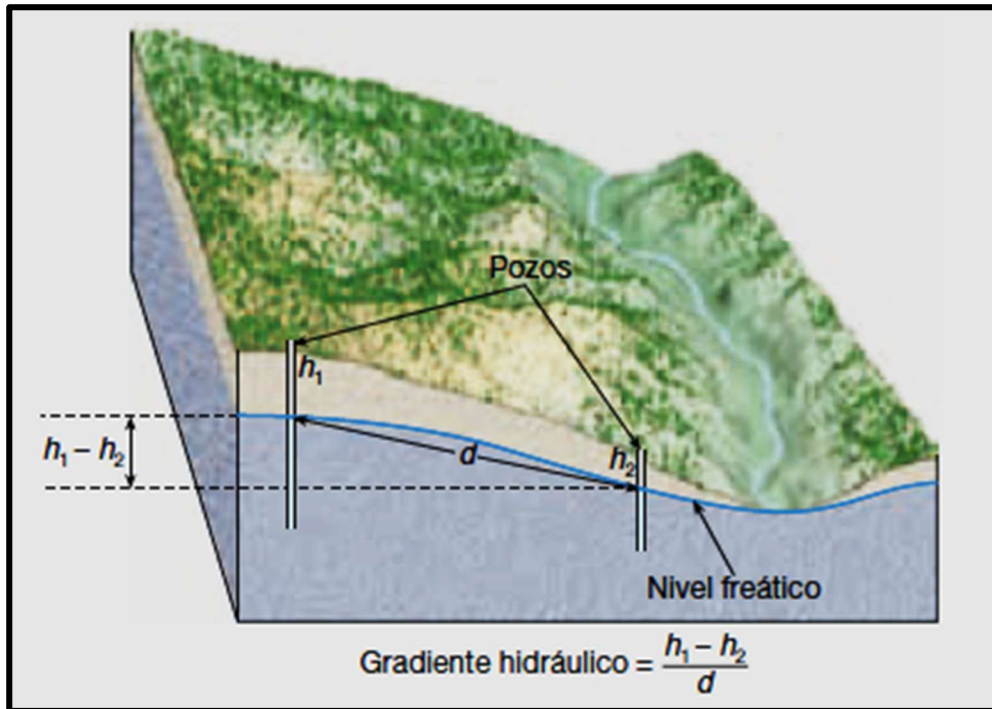


Figura 8 El gradiente hidráulico se determina midiendo la diferencia de elevación entre dos puntos del nivel freático, los pozos se utilizan para determinar la altura del nivel freático, tomado de Tarbuck y Lutgens, 2013.

Recarga y Descarga de acuíferos

La teoría de la infiltración describe el movimiento del agua superficial hacia el suelo. La tasa de infiltración es la rapidez con la que el agua se filtra en el suelo y depende de factores como la permeabilidad del suelo, la pendiente y la vegetación.

Infiltración Natural: Se produce en el terreno por la acción conjunta de dos fuerzas, la gravedad y la atracción molecular. La magnitud de la infiltración y por lo tanto de la alimentación del agua subterránea, se ve influenciada por las precipitaciones y las condiciones del terreno, (Ordoñez-Gálvez, 2011, p.21), (Figura 9).

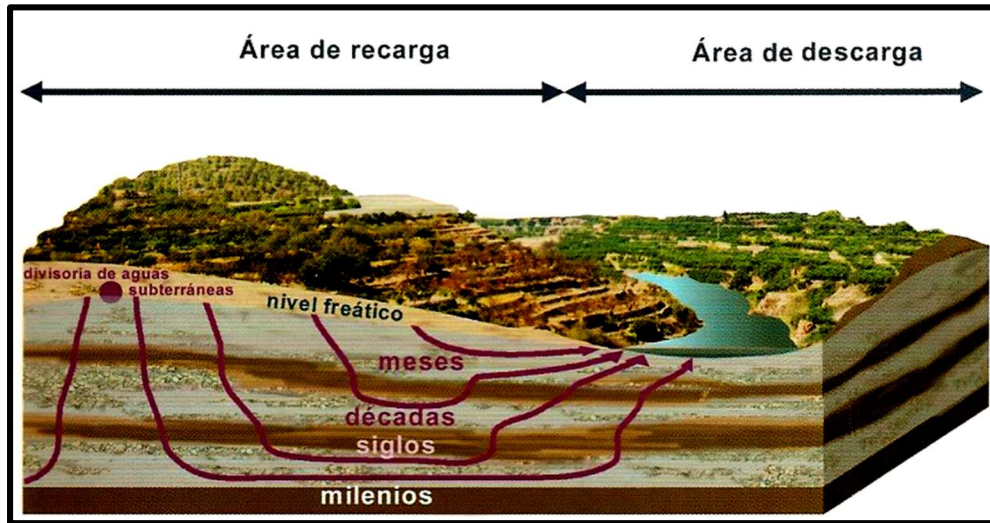


Figura 9 Infiltración natural, posibles caminos que sigue el agua hasta el sitio de descarga, tomado de Luis F. Rebollo, 2018

Recarga Proveniente de Regadíos: En terrenos de cultivo se produce infiltración de cierta cantidad del agua aplicada, que pasa a constituir una nueva fuente de alimentación para la infiltración de agua hacia el subsuelo. Del total del agua que se aplica en riego en una zona, una parte se gasta en lo que se designa como “consumo evapotranspirativo” (agua transpirada por la planta y retenida en su tejido durante su crecimiento, más la evaporada desde la superficie del terreno) (Ordoñez-Gálvez, 2011, p.21).

Alimentación Artificial: Consiste en la introducción de agua al acuífero, mediante variedad de sistemas como balsas de infiltración, pozos de recarga profunda, zanjas y otros mecanismos, (Ordoñez-Gálvez, 2011, p.21).

Descarga de los acuíferos: La perforación de un pozo es el método más común para explotar un acuífero mediante bombeo.

El bombeo de pozos provoca una notable depresión en el nivel de agua en su interior, como resultado del descenso de la superficie del nivel del agua dentro del acuífero en las proximidades de la captación. Cuando un pozo comienza a bombear agua subterránea, se forma un cono de depresión alrededor del mismo, el cual es más pronunciado en profundidad y alcance cuando el caudal de extracción es mayor

y la permeabilidad del acuífero es menor (Cooperativa de provisión de agua potable, 2017), (Figura 10).

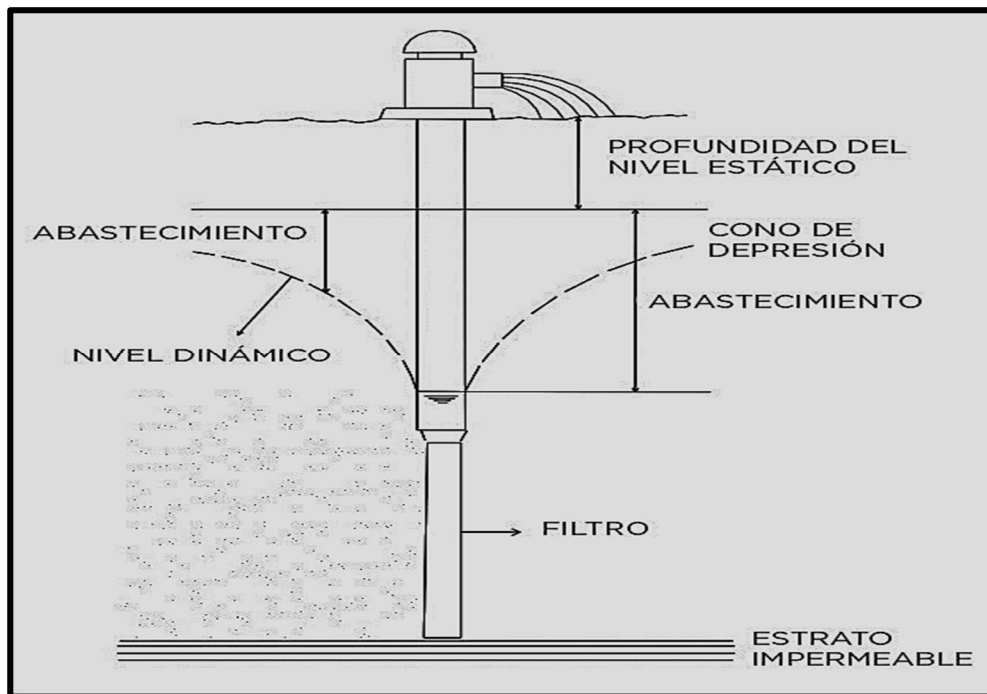


Figura 10 Descarga de acuíferos y formación del cono de abatimiento, tomado de aprovechamiento de agua subterránea, aquabook, 2016.

Si los pozos de una zona están demasiado próximos unos a otros, llegan a superponerse sus conos de depresión, es decir, sus radios de influencia, originándose entonces un descenso generalizado del nivel freático regional que puede llegar a secar los pozos que no sean bastante profundos, (Cooperativa de provisión de agua potable, 2017).

Método eléctrico

Todas las técnicas geofísicas intentan distinguir o reconocer las propiedades físicas de las rocas que se encuentran en el subsuelo mediante la medición de parámetros físicos.

Existen diversas técnicas geofísicas eléctricas o electromagnéticas, los más empleados en Hidrogeología se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica (sondeos eléctricos verticales SEV y polarización inducida PI), (Sánchez San Román, 2022, p.1), que miden la resistencia de los materiales. La resistividad de las rocas depende de la cantidad de agua presente y las sales que contienen, de los minerales metalíferos y las altas temperaturas.

Estos métodos se usan fundamentalmente para el mapeo de rocas con diferentes porosidades, detectar presencia de agua, vetas minerales y para estudios arqueológicos, (Prospección Geofísica, 2014, p.2). Los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) se siguen utilizando por su sencillez y su económico equipo necesario.

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Es un método geofísico que permite de manera indirecta, obtener la resistencia al paso de una corriente eléctrica de los materiales que constituyen el subsuelo.

El método se basa en medir la resistividad de las rocas y capas geológicas. La propiedad de conducir corriente eléctrica varía de un tipo de roca a otra, de tal forma que es posible distinguir diferentes tipos de materiales en el subsuelo (Tabla No. 1).

La resistividad se define como la resistencia al paso de una corriente eléctrica que ofrece un cilindro de longitud y sección unitarias.

$$\rho = R(s/L)$$

Donde ρ es la resistividad, R la resistencia eléctrica, s el área de la sección y L la longitud del cilindro, la resistividad se expresa en [ohm-m].

Tipos de Rocas	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Rocas ígneas y metamórficas inalteradas	> 1000
Rocas ígnea y metamórficas alteradas, o fuertemente fracturada	100 - 1000
Calizas y Areniscas	100 a más de 1000
Arcillas	1 - 10
Limos	10 - 100
Arenas	100 - 1000
Gravas	200 a más de 1000
Areniscas Arcillosas	50 – 300
Margas	20 - 100
Cuarcitas	300 – 10000
Arena y Grava seca	1000 - 10000
Arena y Grava con agua dulce	50 – 500
Arena y Grava con agua salada	0.5 - 5

Tabla 1. Valores de resistividad de algunas rocas, fuente: Prospección Geofísica, sondeo eléctrico vertical, Javier Sánchez San Román, Dpto. Geología Universidad Salamanca, España.

En el sondeo eléctrico vertical nos proporcionan la resistividad de la roca que se encuentra en el subsuelo. Por lo general, se utilizan cuatro electrodos que se colocan en una línea recta y de forma simétrica con relación al punto que se desea

estudiar; los electrodos colocados en los extremos de la línea se denominan A y B respectivamente, y a través de ellos se inyecta corriente eléctrica al terreno generando un campo eléctrico.

Los electrodos interiores, identificados como M y N, tienen la finalidad de evaluar el campo eléctrico creado, midiendo la diferencia de potencial entre dos puntos situados en la superficie del terreno (Figura 11).

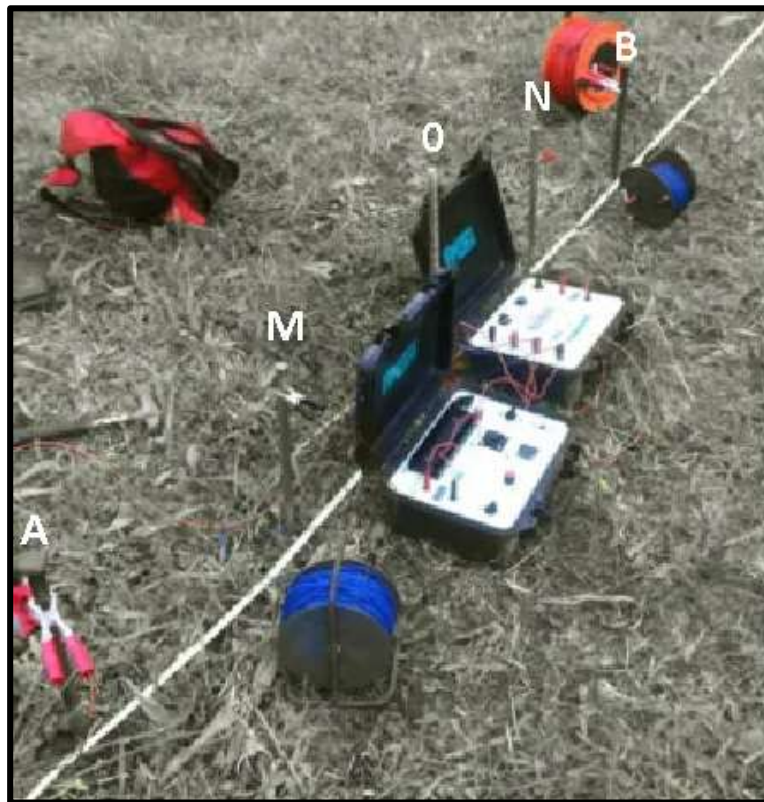


Figura 11 Arreglo de Electrodos tipo Schlumberger, A y B electrodos de corriente, M y N electrodos de potencial y O punto de investigación, tomado de (GTK Laboratorio Geotécnico en Bilbao, 2022.).

Conociendo la intensidad de la corriente I (cantidad de electricidad que circula por un circuito) y la diferencia de potencial ΔV (es el impulso que necesita una carga eléctrica para que pueda fluir por el conductor), es posible determinar la resistividad aparente del terreno (Figura 12). Recibe el nombre de resistividad aparente porque

el subsuelo no es homogéneo, y el valor obtenido es una mezcla de las resistividades de diferentes materiales.

$\rho_a = (\Delta V/I) K$ donde K es la constante geométrica del arreglo

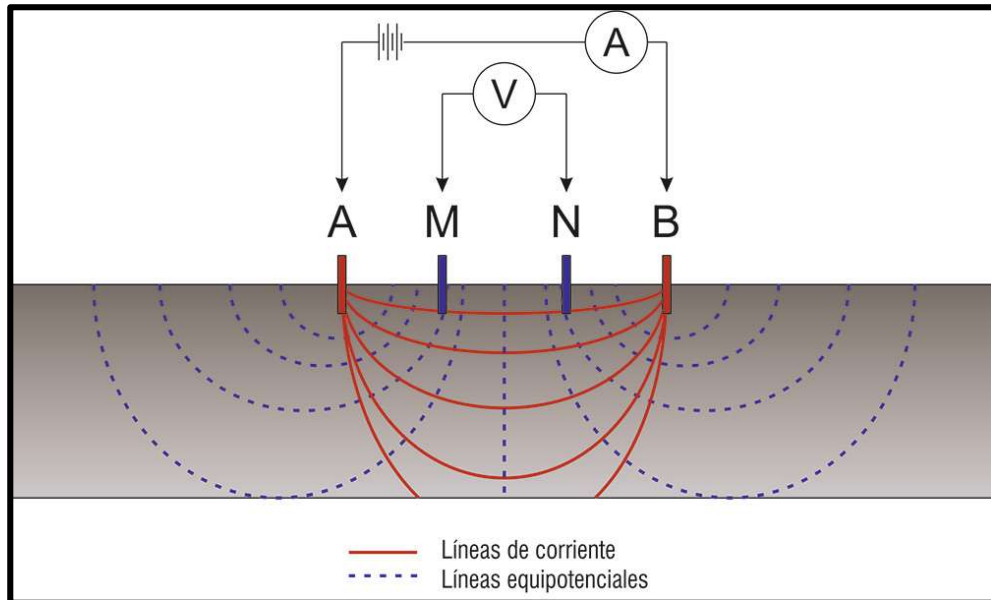


Figura 12 Funcionamiento de los electrodos en el arreglo tipo Schlumberger, fuente: (Everest Geophysics, s.f.).

Para conocer los valores de resistividad de los estratos a mayor profundidad se debe incrementar la separación de los electrodos de corriente.

Con base en los datos obtenidos en el campo, se realiza una gráfica en papel logarítmico (figura 13). Se pueden observar diferentes tendencias de los datos en donde no siguen una línea recta, sino que cambia de dirección, nos referimos a él como punto de inflexión, cuando esto sucede es por el cambio de medio a otro. Con ayuda de un estudio previo del lugar y las tablas de resistividad podemos dar el nombre al medio en donde pasa la corriente eléctrica.

Se corrigen por efecto de empalme para tener una línea continua, la cual será interpretada con la ayuda del programa Veswin, este nos proporciona el modelo inverso del subsuelo interpretado con base en la geología del lugar del estudio.

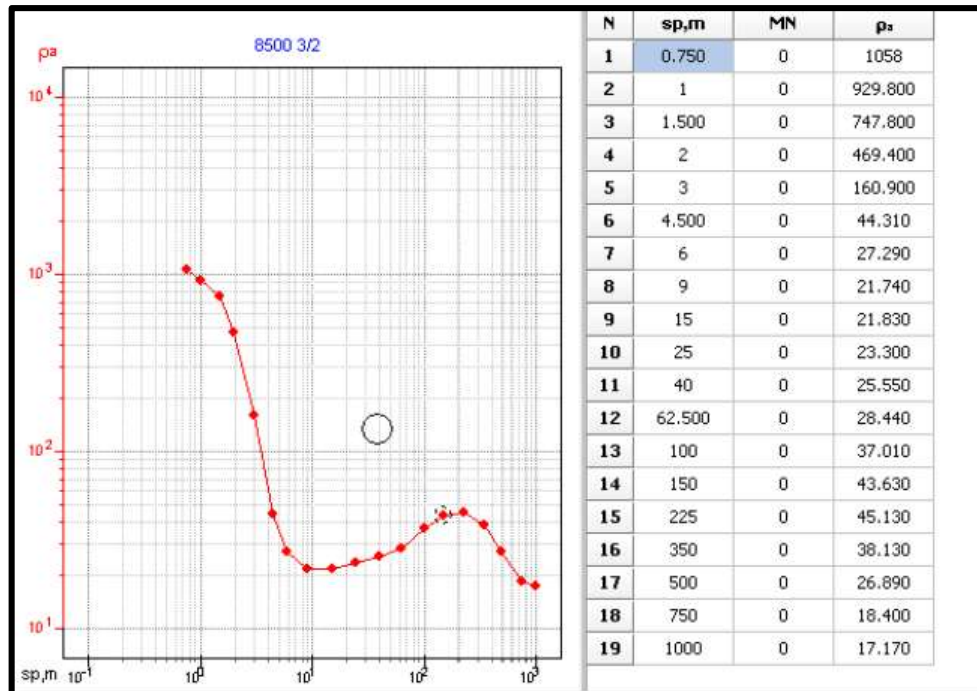


Figura 13 Datos de campo y grafica logarítmica ya corregida, tomado de (Cartomex, 2015).

Una vez interpretados los sondeos se construye un perfil donde se muestra las diferentes litologías, sus resistividades y su espesor que se encuentran en la zona de estudio (Figura 14).

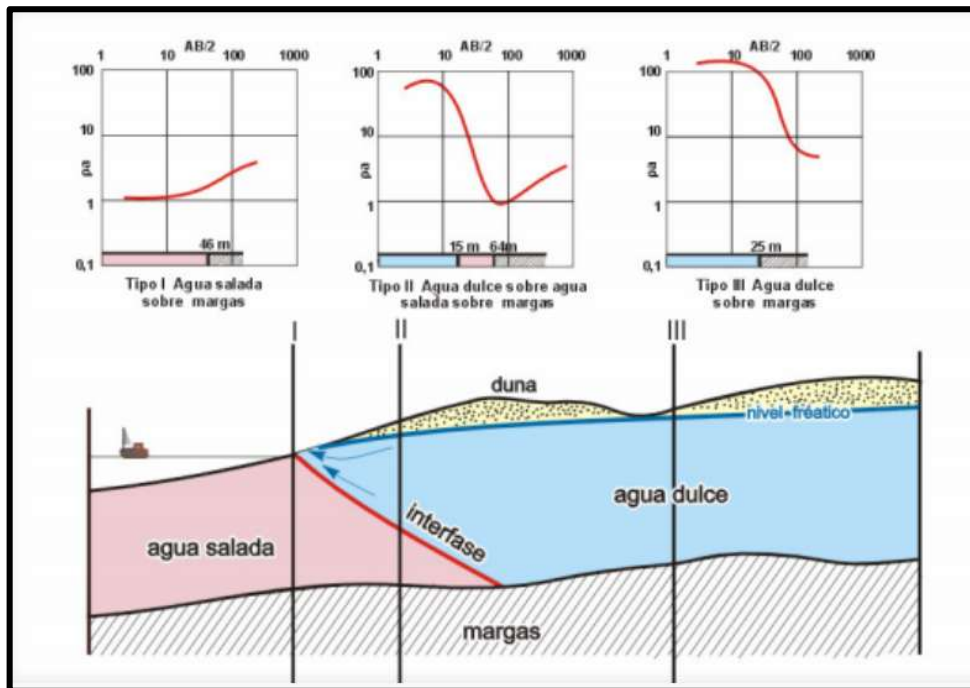


Figura 14 Perfiles del Sondeo Eléctrico Vertical, tomado de (Cartomex, 2015).

CAPITULO 2

MARCO GEOGRÁFICO

LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

Localización

El estado de Querétaro es una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana, cuenta con 18 municipios, (Figura 15). Delimitado al Norte por el estado de San Luis Potosí, al Este por el estado de Hidalgo, al Oeste por el estado de Guanajuato y al Sur por los estados de Michoacán y el Estado de México.

San Juan del Río es un municipio del estado de Querétaro (Figura 15). Está delimitado políticamente por el estado de Hidalgo en el Este; por el municipio de Amealco y el Estado de México al Sur; por los municipios de Pedro Escobedo y Amealco al Oeste y por los municipios de Pedro Escobedo y Tequisquiapan al Norte.

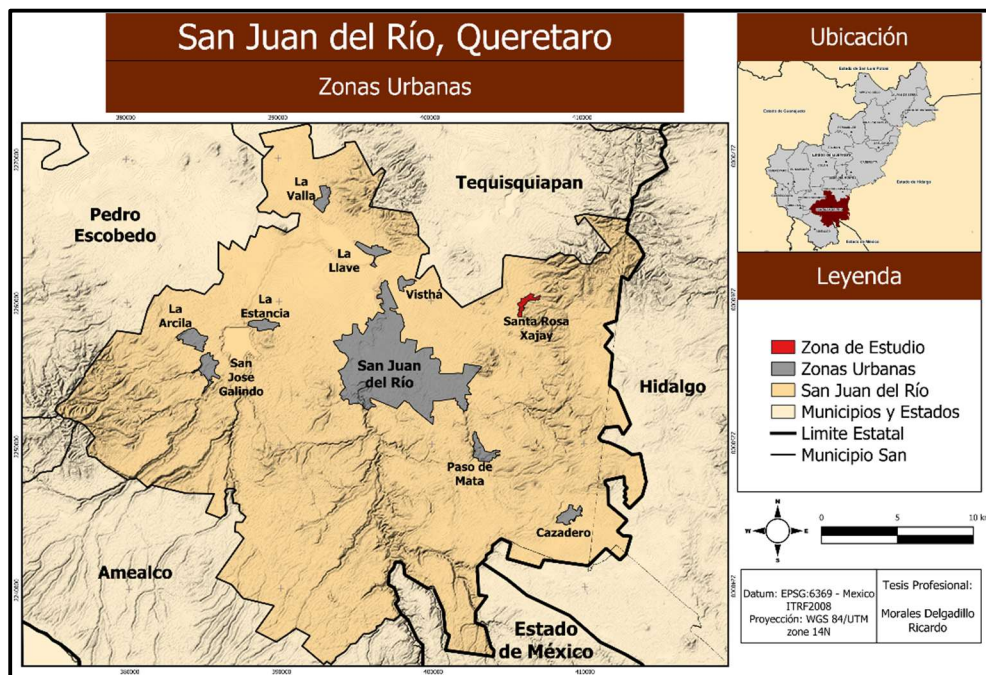


Figura 15 Mapa del municipio de San Juan del Río con los 10 poblados con más Habitantes.

Dentro de este municipio se encuentra el área de estudio, en el poblado de Santa Rosa Xajay, (Figura 16). Se localiza al noroeste de la ciudad de San Juan del Río.

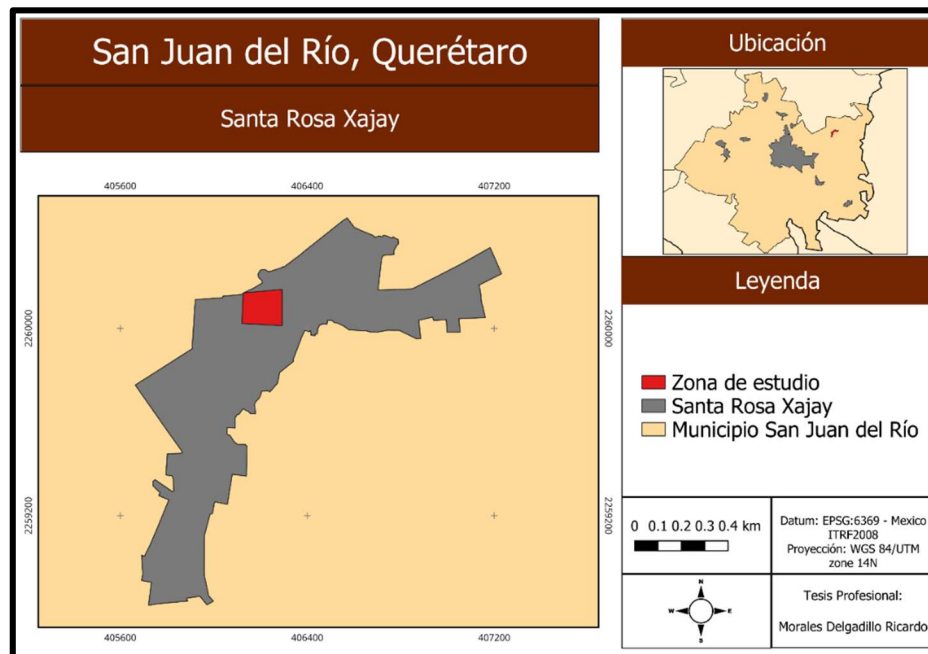


Figura 16 Mapa del poblado de Santa Rosa Xajay.

Vías de Acceso

El municipio de San Juan del Río cuenta con una extensa red de infraestructura carretera que conecta la ciudad con otras localidades y regiones. La presencia de carreteras federales, estatales y caminos rurales facilita el transporte de personas, mercancías y productos agrícolas. Esta infraestructura contribuye al desarrollo económico y social del municipio, al permitir un acceso eficiente a los recursos y mercados externos, (Joulia Lagares, 2012, p. 19).

La distancia entre Santa Rosa Xajay y San Juan del Río saliendo de la central de autobuses es de 20 kilómetros, por carretera toma aproximadamente 30 minutos (Figura 17).

Partiendo de la central de autobuses de San Juan del Río accede a la Autopista Querétaro – México. Conduce por Carretera San Juan del Río-Tequisquiapan y toma Camino a Santa Rosa Xajay hacia 5 de Febrero en Santa Rosa Xajay.

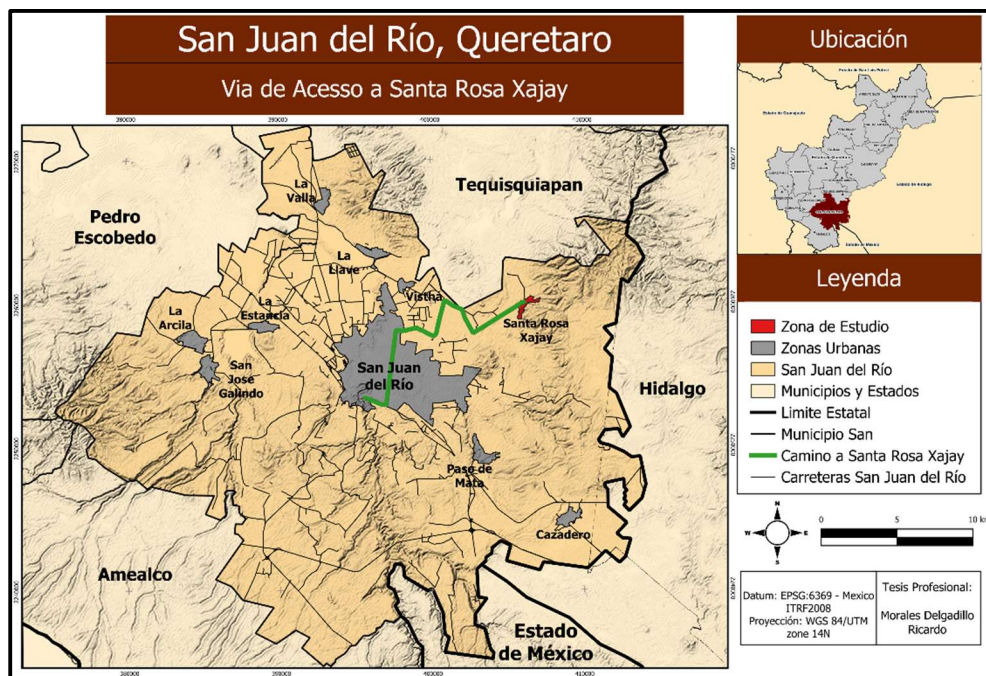


Figura 17 Mapa de la Vía de Acceso de San Juan del Río a Santa Rosa Xajay.

POBLACIÓN, USO DE SUELO Y VEGETACION

Población

De acuerdo con el INEGI en el 2012 la población en el estado de Querétaro fue de 2, 043,851 habitantes, de las entidades federativas ocupa el lugar 22 de los más poblados de la República. El municipio de San Juan del Río es el segundo municipio más poblado de Querétaro de los 18 en total, cuenta con 241,699 habitantes, (Joulia Lagares, 2012, p. 69).

San Juan del Río cuenta con 29 poblados, Santa Rosa es uno de los 8 poblados más habitados del municipio con 3578 y es el lugar de la zona de estudio.

Uso de Suelo

El municipio de San Juan del Río ha experimentado cambios históricos en las extensiones de áreas que solían estar cubiertas por ecosistemas naturales, siendo reemplazadas por parcelas agrícolas, potreros, zonas urbanas, industriales y comerciales, (Joulia Lagares, 2012, p. 57).

San Juan del Río cuenta con tierras fértiles y abundante agua en el subsuelo. Las tierras son de alto potencial agrícola en la parte Oriente de la ciudad, tierras negras de mucho migajón propias para la siembra y para recoger abundantes cosechas. En el oriente y sur del municipio abundan las tierras calcáreas, tepetatosas y pedregosas que son de temporal, (Rodríguez Sánchez, 2020, p. 18).

Vegetación

El tipo de vegetación natural o silvestre está representada por la flora nativa, misma que se divide en vegetación arbórea y de pradera, (Joulia Lagares, 2012, p. 59).

Es importantes conocer la distribución del uso de suelo y la vegetación, porque la vegetación es indicativo de la cantidad de precipitación en la región y también nos indica que tipo de clima existe en el lugar y como la población del municipio ocupa el agua.

Fisiografía

Son tres las Provincias fisiográficas que conforman el estado de Querétaro (Figura 18): Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Faja Volcánica Transmexicana (FVT), en esta última se encuentra situado el municipio de San Juan del Río Querétaro.

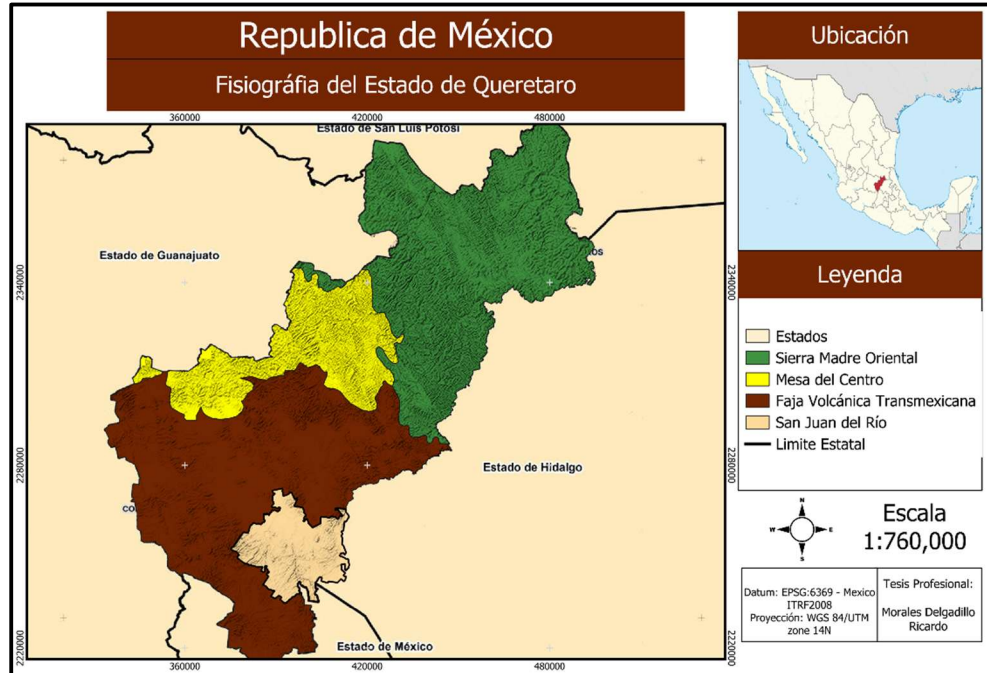


Figura 18 Provincias Fisiográficas del estado de Querétaro.

Sierra Madre Oriental: Corresponde unos 5,000 km² de la porción Nororiental del estado. El relieve se caracteriza por tener cordilleras alargadas y valles intramontañosos, con una alineación principal Noreste - Suroeste y elevaciones superiores a los 3 000 msnm, (Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos SARH, 1988, p. 16).

Está constituida principalmente por rocas sedimentarias mesozoicas que se depositaron y evolucionaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico. Está compuesta de estrechos pliegues con una orientación que sigue el rumbo general de la sierra, rumbo a la Mesa del Centro los valles son más amplios, las sierras anticlinales menos estrechas, y hacia el occidente son cubiertos paulatinamente por las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental, (Moran Zenteno, 1984, p. 43).

Mesa del Centro: Corresponde unos 1080 km² de la porción Centro - Occidente de la entidad. Sus geoformas características están alineadas del Norte al Sur y forman una serie de mesetas con altitudes de 2 000 msnm en promedio, con algunos cerros que alcanzan elevaciones superiores a los 3 000 msnm, (SARH, 1988, p. 15).

Existen numerosos afloramientos de secuencias metamórficas que pueden haber correspondido al Triásico, sobre esta secuencia descansan rocas sedimentarias marinas parcialmente metamorfoseadas con contenido de fósiles del Triásico Superior. Existen otros afloramientos de rocas esquistosas de probable edad Paleozoico Superior o Triásico Inferior, (Moran Zenteno, 1984, p. 43).

Faja Volcánica Transmexicana (FVT): Tiene una vida de aproximadamente 38 Ma cuando su orientación era noroeste a sureste al pasar el tiempo hasta llegar al Cenozoico Superior quedando de la forma como la conocemos ahora con una orientación de Oeste a Este que cruza transversalmente la República Mexicana, Figura 19.

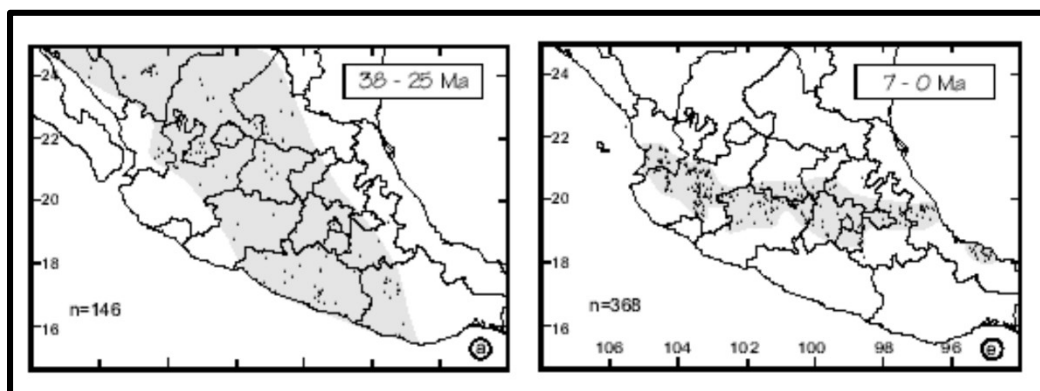


Figura 19 Evolución en la orientación de la FVT a través del tiempo, tomado de Universidad de Sonora, 2016.

La FVT se suele dividir en tres zonas con base en su geología, Occidental, Central y Oriental, (Gómez Tuena, 2005, p. 228):

La zona occidental se extiende desde el litoral del Pacífico hasta la unión triple de los rifts de Zacoalco, Chapala y Colima, donde el relieve está dominado por domos volcánicos y depósitos de flujos piroclásticos. En su sector meridional, el volcanismo de la Sierra Madre Occidental exhibe un comportamiento bimodal, manifestado en estratovolcanes y complejos de domos dacítico-riolíticos, así como en centros monogenéticos basálticos. Por el contrario, la actividad volcánica dentro del Bloque Jalisco se caracteriza por ser predominantemente monogenética y de composición basáltico-andesítica. (Ferrari, 2000, p. 85).

La zona central, delimitada por la junta triple de los rifts de Zacoalco, Chapala y Colima al oeste, y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende al este, se distingue por la presencia de grandes calderas generadoras de ignimbritas y tobas pumicíticas. En esta zona destaca el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato, que se extiende desde la Laguna de Chapala hasta Querétaro. Este complejo incluye una vasta diversidad morfológica: conos monogenéticos, domos de composición intermedia a félsica y volcanes compuestos basáltico-andesíticos. Entre ellos sobresale el estratovolcán Cerro Tancítaro, cuya formación data de hace aproximadamente 0.5 Ma, (Ferrari, 2000, p. 85).

La zona oriental, delimitada por el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la costa del Golfo de México, se distingue por secuencias piroclásticas del Plioceno zancliense, las cuales se encuentran intercaladas con derrames de lava basáltica, configurando un arreglo petrológico bimodal. En este sector, que descansa sobre una corteza cratónica de edad precámbrica, el volcanismo se manifiesta principalmente a través de grandes estratovolcanes, calderas y complejos de domos (de composición andesítica a riolítica). En contraste, los centros monogenéticos basálticos constituyen solo una fracción mínima del volumen magmático total emplazado, (Ferrari, 2000, p. 85), (Figura 20).

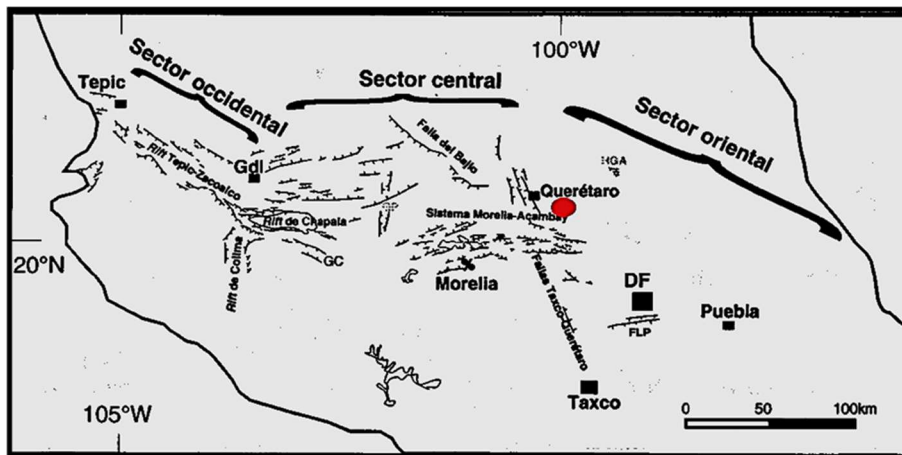


Figura 20 Mapa con la división de la FVT, el círculo muestra la zona de estudio, tomado de Luca Ferrari, 2005.

La dinámica volcánica en esta franja ha propiciado la formación de múltiples cuencas endorreicas, lo que ha derivado en el desarrollo de importantes sistemas lacustres. Los principales edificios volcánicos de esta provincia comprenden estratovolcanes de dimensiones diversas, conos de escoria y calderas, tanto de colapso como de explosión.

Esta provincia se sitúa en las regiones centro y sur de la entidad, cubriendo el 49.91% de la superficie estatal. La morfología del paisaje se define por una amplia variedad de estructuras volcánicas, entre las que destacan conos cineríticos, volcanes compuestos, depósitos de flujos piroclásticos y derrames lávicos de basalto que dan forma a mesetas y planicies, (Joulia Lagares, 2012, p. 39).

En el municipio se identifican dos grandes unidades de paisaje. Hacia el sur y suroeste predominan mesetas altas coronadas por sierras y aparatos volcánicos que forman una cadena montañosa de dimensiones moderadas. Al norte, esta zona colinda con el Valle de San Juan del Río (Figura 21), una región de llanuras extensas y cerros volcánicos menores. Esta área, en conjunto con la región de la capital estatal y gran parte de los municipios de Pedro Escobedo, Colón (sur), El Marqués y Tequisquiapan, integra la región conocida como los Llanos o Valles Centrales de Querétaro, (Joulia Lagares, 2012, p. 42).

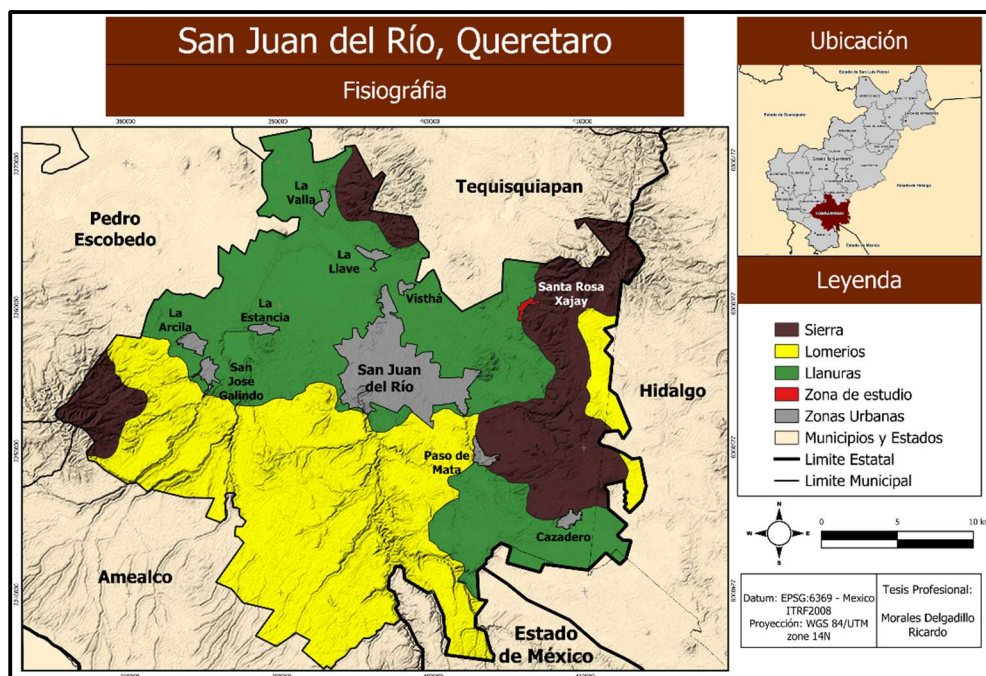


Figura 21 Mapa Fisiográfico del municipio de San Juan del Río.

Hidrología

La red hidrográfica del estado se integra por dos grandes regiones: la cuenca del río Pánuco, que abarca el norte, centro y sureste de la entidad, y la cuenca del río Lerma, situada en el oeste y suroeste (Figura 22). Dentro de este sistema destacan por su importancia los ríos Querétaro, San Juan, Moctezuma, Extórax y Santa María.

La entidad cuenta con más de 70 obras de almacenamiento, destacando en esta región las dos presas más importantes: la Constitución de 1917 y San Ildefonso (aunque esta última se localiza físicamente en el Estado de México). Por su parte, la presa Centenario es fundamental para el distrito de San Juan del Río, donde se aprovecha tanto para el riego agrícola como para la generación de energía eléctrica.

El municipio de San Juan del Río se integra en la Región Hidrológica del Río Pánuco, la cual en el estado se divide en dos cuencas: Río Tamuín y Río Moctezuma. La cuenca del Río Tamuín se localiza al norte de la entidad; sin

embargo, su corriente principal tiene una extensión limitada y el aprovechamiento de sus flujos es mínimo debido al relieve accidentado de la zona. Dentro de esta cuenca se identifican las subcuencas de los ríos Verde y Santa María, además de un sistema de drenaje subterráneo con dirección hacia el noroeste, (Joulia Lagares, 2012, p. 49).

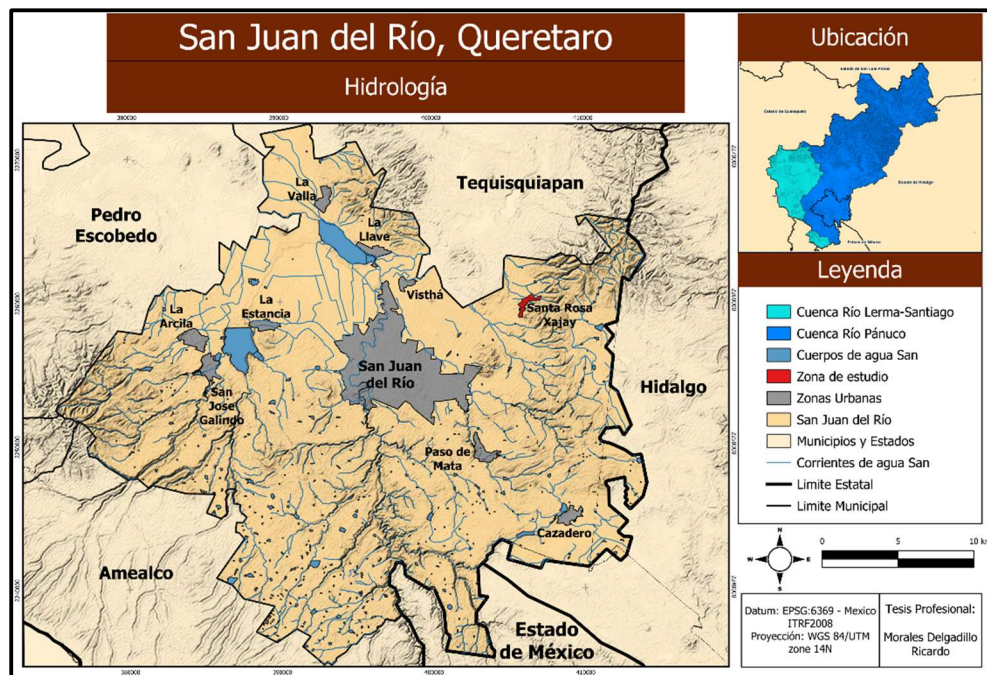


Figura 22 Presas y ríos del municipio de San Juan del Río.

El acuífero de mayor tamaño es el de San Juan del Río, en el que los pozos han alcanzado profundidades de 480 m sin llegar al fondo del acuífero, su parte superior está constituido por relleno aluvial de geometría irregular y espesor máximo de 150 m en la porción central del valle, y su parte inferior por rocas fracturadas de composición basáltica y andesítica, con espesor de 300 – 400 m. En este acuífero se encuentra el área de estudio. Hidráulicamente está conectado con el acuífero Valle de Tequisquiapan al oriente y con Valle de Querétaro al poniente, a los cuales alimentaba en condiciones naturales, pero su aportación al acuífero Valle de Querétaro ha sido casi anulada, (SARH, 1988, p. 24).

Clima

El estado de Querétaro se sitúa en las tierras altas del centro de México, dentro de la zona intertropical. Su clima está influenciado por los vientos húmedos del este provenientes del Golfo de México; sin embargo, la orografía de la zona serrana al norte y oriente actúa como una barrera orográfica significativa, lo que limita la entrada de humedad hacia las regiones central y suroeste de la entidad, (García Daguer, 2001, p. 8).

En el municipio de San Juan del Río predominan dos variantes climáticas: semiseco templado y templado subhúmedo (Figura 23). El primero es el de mayor extensión, cubriendo el norte y centro del municipio en una zona de llanuras y lomeríos donde se ubica Santa Rosa Xajay, el sitio de estudio. Esta zona presenta una precipitación anual de 485 a 700 mm, temperaturas medias de 12 a 18 °C y altitudes entre los 1,920 y 2,200 msnm. Por otro lado, el clima templado subhúmedo se distribuye en las áreas montañosas del sur y centro, en altitudes de 1,800 a 2,000 msnm, con vientos dominantes del noreste en otoño y del este durante el resto del año, (Jouliá Lagares, 2012, p. 55).

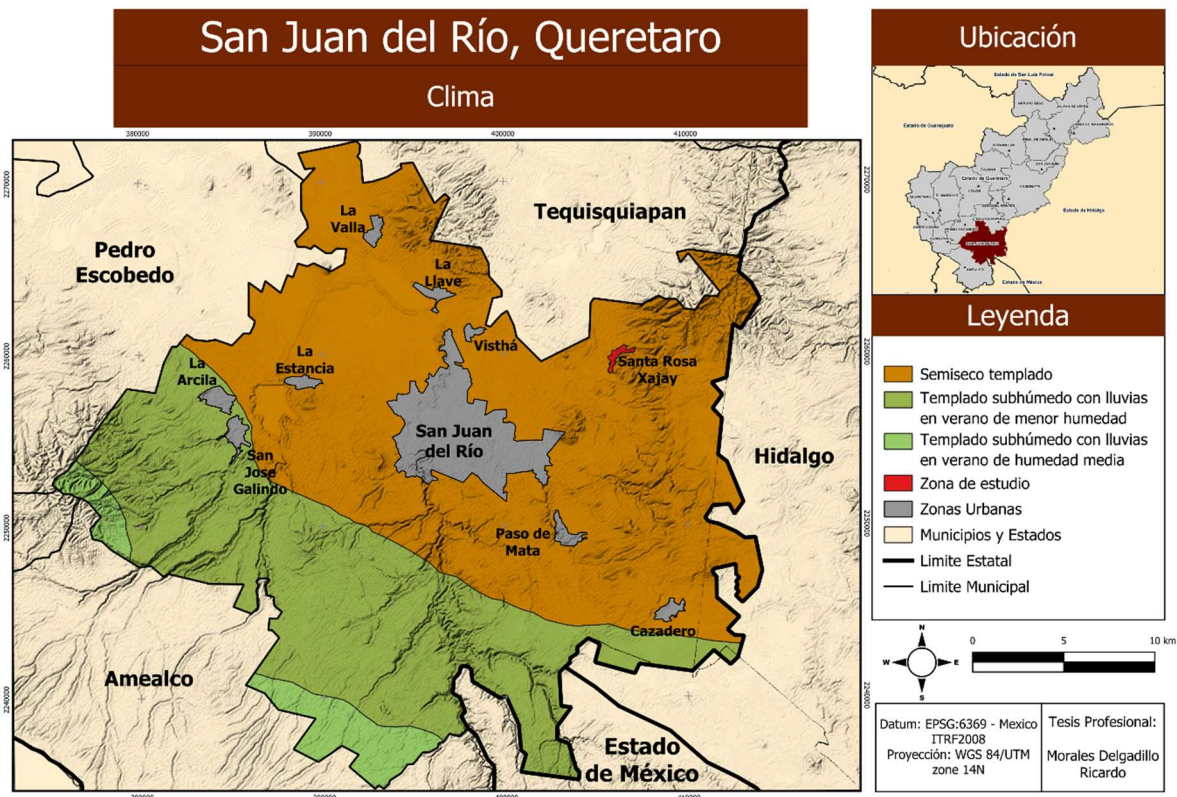


Figura 23 Principales climas del municipio de San Juan del Río

Geología

Geología Regional

La geología del estado de Querétaro se caracteriza por una amplia diversidad en la composición y edad de sus rocas. Las formaciones más antiguas datan del Paleozoico Superior y afloran en la porción norte con una antigüedad aproximada de 240 Ma. Por el contrario, las unidades más jóvenes se hallan en las regiones centro y sur de la entidad; estas comprenden andesitas y depósitos piroclásticos del Plioceno (aprox. 10 Ma), así como ignimbritas y basaltos del Cuaternario con una edad estimada de 1 Ma.

El conjunto de estructuras volcánicas características del paisaje de Querétaro se conformó sobre un paleorrelieve constituido por las rocas sedimentarias del Mesozoico, plegadas, correlativas con las que afloran en la Sierra Madre Oriental. La evolución de los fenómenos volcánicos propició el cierre de algunas cuencas que fueron azolvadas con aportes volcanoclásticos, los cuales litológicamente tienen características de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre y por lo tanto aparecen estratificadas. Las fases neotectónicas distensivas, asociadas con fenómenos volcánicos recientes, han contribuido a la formación de los rasgos del relieve de esta entidad, pues el fallamiento normal y el fracturamiento son los principales controles de sus incipientes patrones de drenaje, (Joulia Lagares, 2012, p. 39).

Geología Local

El marco geológico de San Juan del Río está conformado por rocas de composición y edad muy variada que fueran producto de una serie de eventos esencialmente volcánicos y en menor proporción sedimentarios continentales.

El municipio de San Juan del Río se encuentra en la subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo de la provincia del Eje Neovolcánico, geológicamente están representados los periodos Cenozoico-Cuaternario ígneo extrusivo, Cenozoico-Neógeno sedimentario e ígneo intrusivo, son dominantes en la zona del corredor San Juan del Río- Querétaro, asociados a tobas ácidas en las llanuras y pequeños afloramientos. (Figura 24).

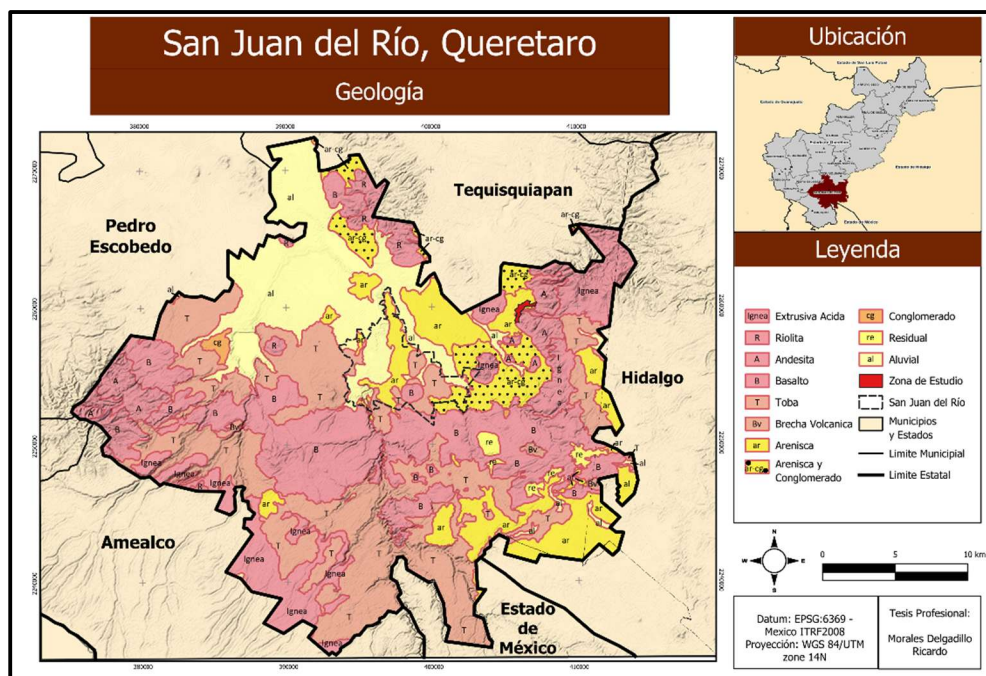


Figura 24 Mapa geológico del municipio de San Juan del Río.

En la inmediación del poblado Santa Rosa Xajay, se observan afloramientos de areniscas y tobas riolíticas. Al oriente se localiza una Sierra con una extensión de aproximadamente 25 km y una orientación NE-SW, en su porción norte tiene una flexión hacia el oriente, sobresalen los cerros Grande, Xajay y Los Caballos. Se caracteriza por presentar dos áreas que varían entre andesita a toba riolítica. El área norte presenta cerros con elevaciones de más de 500 metros sobre el nivel de los valles, con pendientes de moderadas a abruptas, se presenta amplios valles hacia el poniente, con una altitud promedio de 2300 msnm.

El área sur de la Sierra está compuesta por tobas riolíticas y toba, teniendo laderas tendidas con pendientes muy abruptas, con una altitud promedio de 2100 msnm.

Al oeste, en la zona de valles, se presentan depósitos de arenisca formando pendientes relativamente suaves, más al poniente se tiene el cerro La Bola constituido por las rocas ígneas ácidas. (Figura 25).

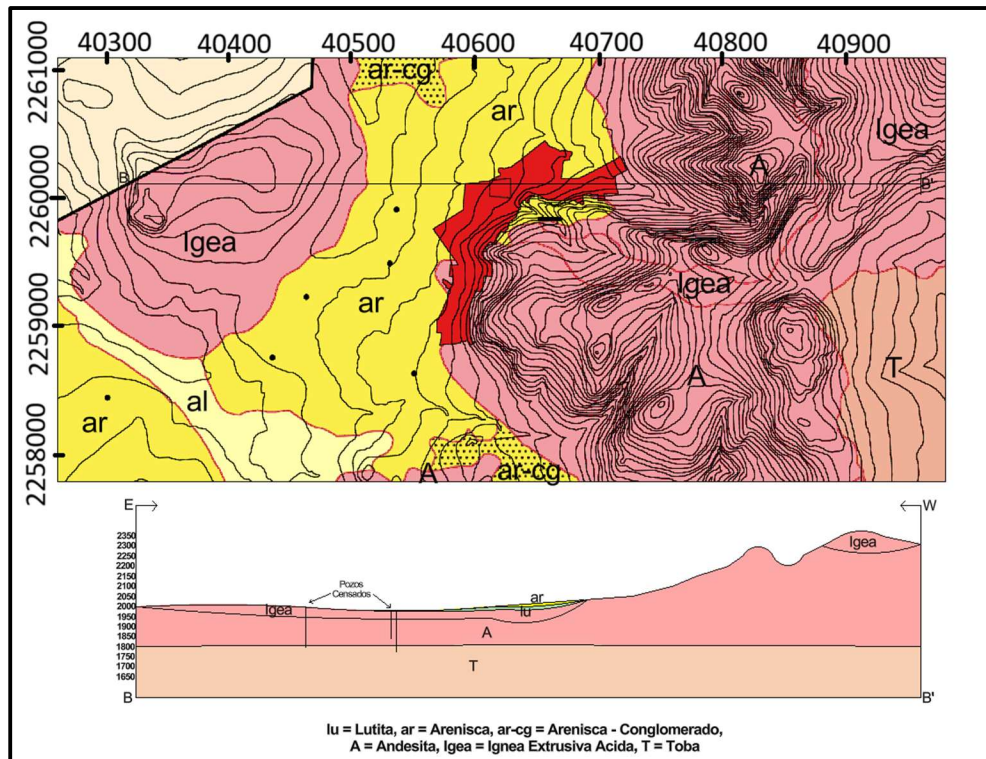


Figura 25 Corte Geológico de Santa Rosa Xajay

CAPITULO 3

GEOHIDROLOGIA

Comportamiento de las Cuencas Hidrológicas

En el estado natural del subsuelo en la cuenca, el agua circula de las áreas de recarga a las de descarga a través de estructuras geológicas. En el subsuelo el agua fluye de las montañas, lomas y mesetas hacia las partes bajas, en donde un volumen de agua que ingresa a los acuíferos aflora a lo largo de los cauces o salía por evapotranspiración, mientras la demás agua continua su curso subterráneo hacia zonas de descarga aguas abajo a lo largo de los valles.

La explotación de los acuíferos modifica las características del flujo subterráneo, al abatirse los niveles del agua en las áreas de bombeo, aumenta el caudal que migra hacia ellos y así, se desarrollan depresiones o conos de abatimiento en los acuíferos (SARH, 1988, p.32).

El acuífero de San Juan del Río es de tipo libre y uno de los más importantes que tiene el estado de Querétaro, a lo largo de los años ha sido objeto de una extracción intensiva y la calidad de agua ha cambiado por la actividad humana, en los siguientes apartados se describe la evolución del acuífero y su estado actual.

Evolución de los Niveles del Agua Subterránea

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) hace observaciones sistemáticas de los niveles de agua subterránea en los pozos que pertenecen al acuífero San Juan del Río, las cuales dan un registro que revela la evolución del acuífero y proporciona datos para cuantificar su recarga y cambio de almacenamiento.

La recarga y la descarga del acuífero provoca oscilaciones en su nivel cuya magnitud varía entre 0.5 y más de 3 m, según la posición en donde se encuentre el área de alimentación y bombeo, a esta fluctuación se superpone a largo plazo, impuesta por la explotación intensiva y en menos medida la alteración del ciclo seco y lluvioso anual.

En los últimos 40 años los niveles del agua subterránea han estado descendiendo progresivamente encontrándose a profundidades de varias decenas de metros, se registró en los años 1970-86 un fuerte abatimiento en la zona de San Juan del Río que es de 5 a más de 35 m, con un ritmo de abatimiento de 1 a más de 3 m por año.

En el año 1986 los niveles estaban a profundidades de 10 a poco más de 50 m, de 40 a más de 70 m en las zonas de riego por bombeo y mayores de 70 m en las partes altas del valle, gobernados por la distribución espacial de las recargas y del bombeo, por la configuración topográfica y la transmisividad del acuíferos (SARH, 1988, p. 34). (Figura 26)

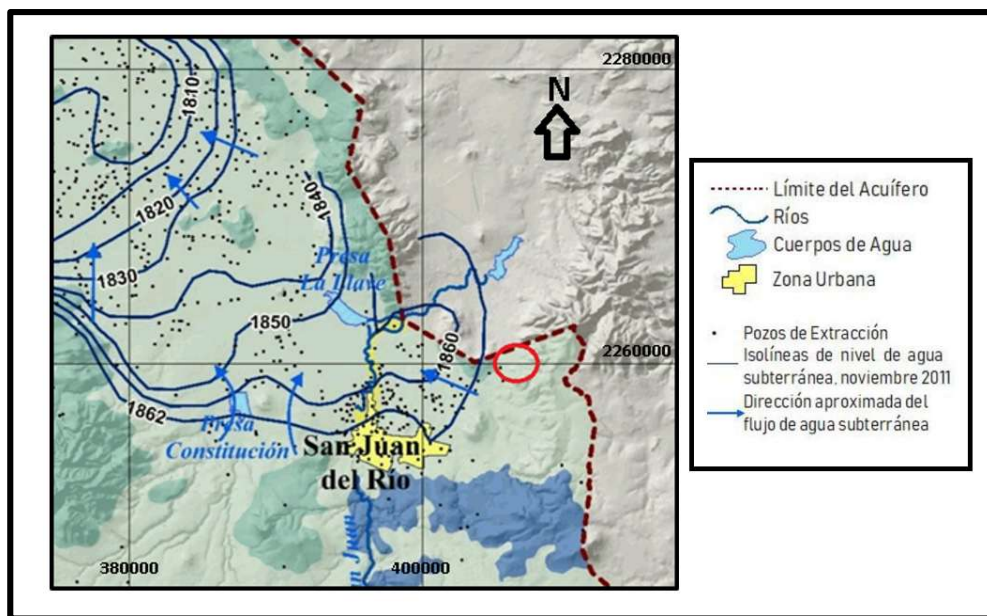


Figura 26 configuración de la elevación del nivel estático en msnm, en el círculo rojo se ubica la zona de estudio, modificado de Medina (2017)

Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea

La salinidad del agua subterránea es muy baja, condición hidrogeoquímica que es propia de las regiones volcánicas (SARH, 1988, p.34), probablemente la concentración de sales disueltas en el agua es de 200 a 400 partes por millón (ppm).

Pese a la carencia de registros históricos sobre la evolución de la calidad del recurso hídrico, se presume un deterioro progresivo derivado de la actividad antropogénica. La infiltración de excedentes de riego, la recirculación de caudales extraídos y la descarga de aguas residuales al subsuelo han propiciado la incorporación de sales en solución, así como de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos a los acuíferos. Este fenómeno de contaminación subterránea se manifiesta con mayor intensidad en las zonas urbano-industriales de la región, (SARH, 1988, p.35).

En 1986, la salinidad total del agua subterránea en la entidad oscilaba entre 200 y 750 ppm, con una tendencia incremental en la dirección del flujo; no obstante, en la zona de San Juan del Río, los valores se mantenían por debajo de las 350 ppm. La firma hidroquímica está dominada por iones de sodio, calcio y bicarbonato, derivados de la meteorización de feldespatos sódicos y cálcicos presentes en las rocas ígneas y sus sedimentos asociados. La presencia predominante de bicarbonato, sumada a la baja salinidad, indica que la infiltración es de origen reciente y que el tiempo de residencia del agua en el acuífero es relativamente corto, (SARH, 1988, p.35).

Explotación y Uso del Agua Subterránea

El estudio de disponibilidad de agua realizado por la (SARH, 1988, p.37) señala que en el estado de Querétaro se está aprovechando una media anual de 749 Mm³ del acuífero, la extracción se concentra en los valles de Querétaro y San Juan del Río, siendo los de extracción mas intensiva.

La extracción está provocando fuertes abatimientos, reducción del rendimiento de los pozos e incremento del costo del bombeo. Los acuíferos del estado de Querétaro contienen reserva de agua que ha estado acumulándose en milenios, en la zona geohidrológica de San Juan del Rio hay unos 3,000 Mm³ por cada 10 metros de espesor saturado, sin embargo, hay que saber que este recurso no es renovable y que una porción de esta reserva es económicamente explotable.

Los principales aprovechamientos de agua subterránea en los alrededores de Santa Rosa Xajay se muestran en la Figura 27, mientras que los datos relacionados con su localización, profundidad, y caudal se presentan en la tabla No. 2, se observa que los pozos se distribuyen hacia el suroeste y hacia el sur respecto a nuestra zona bajo estudio, al norte y al este no se tienen aprovechamientos.

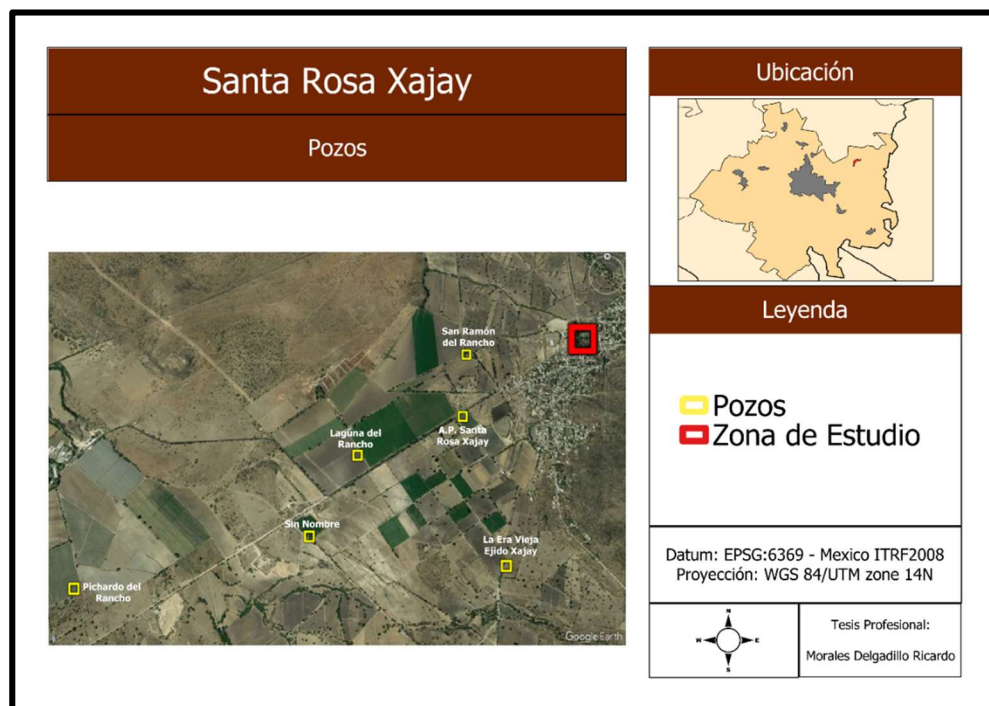


Figura 27 Pozos cercanos a Santa Rosa Xajay

Nombre del Aprovechamiento	LATITUD	LONGITUD	Altitud (msnm)	Caudal de Operación (l/s)	Profundidad total	Dm_Desc. (Pulgadas)
Pozo A.P. Santa Rosa Xajay	20.4331389	-99.9079444	1969	16	138	4
Pozo La Era Vieja Ejido Xajay	20.4251667	-99.9060556	2000	Pozo apagado	200	4
Pozo San Ramón del Rancho Sta. Rosa	20.4371389	-99.9075000	1971	9	200	4
Pozo de la laguna del Rancho Sta. Rosa	20.4306944	-99.9144444	1981	60	200	8
Pozo Pichardo del Rancho Sta. Rosa	20.4232500	-99.9298333	1946	Pozo apagado	200	8
Pozo sin nombre	20.4262500	-99.9170833	1968	Pozo inactivo	Sin información	

Tabla No. 2. Información de los pozos de la figura No. 27.

Uso de Agua Subterránea

Los datos que se presentan a continuación provienen de la obra “Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de San Juan del Rio, 2024”. En donde se indica el uso que se le daba al agua subterránea. se tienen registrados un total de 910 obras que aprovechan el agua; de las cuales 633 se utilizan para la agricultura, 114 para abastecimiento de agua potable a los centros de población, 44 para uso pecuario-doméstico, 82 para uso industrial, 30 para servicios y 7 para uso múltiple.

El volumen total de extracción calculado es de 322.5 hm³/a, de los cuales 42.0 hm³ (13.0%) se destinan al uso público-urbano, 229.6 hm³ (71.2%) para uso agrícola, 25.3 hm³ (7.8%) para uso industrial, 4.2 hm³ (1.3%) para servicios, 19.9 hm (6.2%) para uso pecuario y 1.5 hm³(0.5%) para uso múltiple, (CONAGUA, 2024, p.29).

Una de las herramientas fundamentales para la estabilización del acuífero, consiste en equipar a todos con un medidor totalizador volumétrico, ya que es necesario determinar el volumen total que se extrae año con año de los pozos que se localizan dentro del acuífero y controlar que no se extraiga más agua, de la que ha sido concesionada en forma anual a cada pozo.

CAPITULO 4

EXPLORACIÓN GEOFÍSICA, ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE DATOS.

Metodología

Con base en el mapa geológico (Figura 28) y la ubicación del sitio de estudio, se define el tipo de rocas que afloran. Con estos datos identificados podemos decidir la potencia que se va a usar para el levantamiento del sondeo eléctrico vertical.



Figura 28 afloramiento a un lado de la carretera antes de llegar al poblado de Santa Rosa Xajay, constituida de riolita pumítica.

En el lugar existen dos pozos, solo uno está activo (Figura 29) y tiene una profundidad de 83 metros, se procedió a sondearlo, pero no se tiene certeza de haber alcanzado su nivel estático, debido que la sonda no registro con claridad dicho nivel y se introdujo más de cien metros de cable, el pozo se encuentra a doscientos cincuenta metros de la falda de la sierra, funciona dos veces al día durante dos

horas hasta agotar el agua, requiere de un día para recuperar su nivel, el diámetro del tubo de descarga es de 1.5 pulgadas y se estima un gasto de 2.25 l/s.

El otro pozo no tiene tubería ni bomba y no se pudo medir su nivel freático con una sonda de 100 metros y se encuentra a 120 m del pie del cerro, por lo que se deduce que está seco.



Figura 29 Pozo activo de la hacienda de Santa Rosa Xajay, midiendo la profundidad en donde se encuentra el nivel freático.

Trabajo de campo

En la Figura 30 se presenta el en equipo geofísico usado en el levantamiento de los sondeos eléctricos con un arreglo Semi-Schlumberger, debido a las limitaciones de espacio originadas por estar dentro de la zona urbanizada del Santa Rosa Xajay, para todos los sondeos requeridos.



Figura 30 Equipo geofísico utilizado para la toma de datos en la hacienda de Santa Rosa Xajay

Se realizaron cuatro sondeos eléctricos verticales en la hacienda de Santa Rosa Xajay, en la Figura 31 se puede observar la localización de cada uno.



Figura 31 Mapa de la Hacienda de Santa Rosa Xajay, ubicación de los cuatro sondeos verticales realizados.

El SEV – 1 con las coordenadas 4062'77"E, 22600'24"N, 2009 msnm. Y con una longitud del tendido de 300 m con un arreglo Semi-Schlumberger, el vértice tiene origen en la parte sureste de la hacienda. (Figura 32).



Figura 32 Posición del electrodo en el SEV – 1 para tomar datos.

El SEV – 2 con las coordenadas 40°62'74"E, 22601'57"N, 2011 msnm. Y con una longitud del tendido de 300 m con un arreglo Semi-Schlumberger, el vértice tiene origen en la parte noreste de la hacienda.

El SEV – 3 con las coordenadas 40°61'16"E, 226°00'29"N, 2010 msnm. Y con una longitud del tendido de 300 m con un arreglo Semi-Schlumberger, el vértice tiene origen en el lado suroeste de la hacienda. (Figura 33).



Figura 33 Posición de los electrodos en el SEV – 3 para tomar datos.

El SEV – 4 con las coordenadas $40^{\circ}60'93''\text{E}$, $226^{\circ}01'51''\text{N}$, 1995 msnm. Y con una longitud del tendido de 800 m con un arreglo Semi-Schlumberger, el vértice tiene origen en el lado noroeste de la hacienda en la parte de afuera. (Figura 34).



Figura 34 Posición de los electrodos en el SEV – 4 para tomar datos.

Análisis e interpretación de datos.

Con los datos obtenidos en campo se obtuvieron los espesores y sus respectivas resistividades de cada uno de los sondeos que se realizaron, la primera tabla de cada sondeo que vemos a continuación podemos ver los espesores y la resistividad de cada sondeo eléctrico y la segunda tabla podemos ver los datos que sacamos in situ del lugar y a lado de ellos podemos ver la resistividad que sacamos ya calculado. (Tabla 3 a la 10).

Modelado de Resistividad de Schlumberger		
El Modelo Actual es: SEV-1, Hacienda Santa Rosa Xajay, Querétaro.		
Capa	Espesor (m)	Resistividad (Ωm)
1	10.70	22.00
2	3.40	7.00
3	58.60	45.80
4	Indefinido	81.10

Tabla No. 3. Datos tomados en el lugar del SEV – 1.

AB/2	Resistividad observada (Ωm)	Resistividad calculada (Ωm)
5.00	19.90	21.90
7.00	16.60	21.70
10.00	18.80	21.40
13.00	19.10	21.10
16.00	20.80	20.90
20.00	21.20	20.90
25.00	20.40	21.50
30.00	24.00	22.50
36.00	22.60	24.10
42.00	22.90	25.80
50.00	27.00	28.00
70.00	35.00	32.80
100.00	36.40	38.50
150.00	46.00	45.90
200.00	49.90	51.60
250.00	55.10	56.20
300.00	58.50	59.90

Tabla No. 4. Información del SEV – 1.

Modelado de Resistividad de Schlumberger		
El Modelo Actual es: SEV-2, Hacienda Santa Rosa Xajay, Querétaro.		
Capa	Espesor (m)	Resistividad (Ω m)
1	10.60	17.80
2	12.90	2.20
3	67.40	37.70
4	Indefinido	78.00

Tabla No. 5. Datos tomados en el lugar del SEV – 2.

AB/2	Resistividad observada (Ω m)	Resistividad calculada (Ω m)
5.00	17.40	17.50
7.00	18.10	17.00
10.00	15.00	16.00
13.00	14.80	14.50
16.00	13.70	12.90
20.00	12.20	10.80
25.00	8.70	8.80
30.00	6.90	7.50
36.00	6.50	6.80
42.00	6.70	6.70
50.00	7.20	7.10
70.00	8.50	8.90
100.00	11.40	11.90
150.00	15.90	16.30
200.00	18.80	20.30
250.00	22.20	23.90
300.00	25.40	27.20

Tabla No. 6. Información del SEV – 2.

Modelado de Resistividad de Schlumberger		
El Modelo Actual es: SEV-3, Hacienda Santa Rosa Xajay, Querétaro.		
Capa	Espesor	Resistividad
1	3.10	27.00
2	15.00	2.70
3	54.00	32.00
4	Indefinido	65.00

Tabla No. 7. Datos tomados en el lugar del SEV – 3.

AB/2	Resistividad observada (Ωm)	Resistividad calculada (Ωm)
5.00	18.50	17.60
7.00	10.60	11.90
10.00	7.00	6.70
13.00	4.90	4.60
16.00	4.40	3.90
20.00	4.00	3.90
25.00	4.50	4.30
30.00	5.00	4.80
36.00	6.00	5.60
42.00	6.60	6.30
50.00	7.70	7.30
70.00	10.10	9.60
100.00	12.90	12.70
150.00	16.80	17.20
200.00	21.30	21.10
250.00	24.60	24.60
300.00	26.00	27.70

Tabla No. 8. Información del SEV – 3.

Modelado de Resistividad de Schlumberger		
El Modelo Actual es: SEV-4, Hacienda Santa Rosa Xajay, Querétaro.		
Capa	Espesor	Resistividad
1	4.50	42.00
2	12.40	4.20
3	25.10	47.90
4	134.60	155.50
5	Indefinido	27.60

Tabla No. 9. Datos tomados en el lugar del SEV –41.

AB/2	Resistividad observada (Ωm)	Resistividad calculada (Ωm)
5.00	34.50	35.10
7.00	28.70	28.30
10.00	19.80	19.20
13.00	13.20	13.00
16.00	9.60	9.80
20.00	8.00	8.10
25.00	7.60	8.10
30.00	8.80	8.90
36.00	10.20	10.20
42.00	12.10	11.60
50.00	13.80	13.50
70.00	20.10	18.00
100.00	24.40	24.20
150.00	35.40	33.00
200.00	43.20	40.20
250.00	48.50	45.70
300.00	51.30	49.80
400.00	56.00	54.70
500.00	55.30	56.40
650.00	53.10	55.30
800.00	51.00	52.20

Tabla No. 10. Información del SEV – 4.

Modelos Inversos

Para este proceso nos vamos a apoyar con un programa que se llama veswin nos permite pasar los datos que tuvimos de la resistividad y la distancia entre los dos electrodos a una gráfica. Para poder utilizarlo necesitaremos la tabla de espesores y resistividad que se encuentran en el apartado anterior.

En el eje horizontal ($AB/2$): Representa la mitad de la distancia entre los electrodos de corriente. A medida que esta distancia aumenta, la corriente penetra a mayor profundidad en la tierra, en el eje vertical (Rho) indica la resistividad aparente (ρ_a), medida en Ohm-metros ($\Omega \cdot m$). Este valor nos dice qué tan conductor es el material del subsuelo.

En la curva representado por puntos verdes están los datos medidos directamente en el campo. Línea Verde Continua es la curva ajustada al modelo teórico que mejor explica los datos observados. La línea de Puntos Roja representa el modelo de capas interpretado. Cada "escalón" indica una capa diferente del suelo con su propia resistividad y espesor específico.

Este procedimiento nos permite ajustar las diferentes graficas que obtenemos con los datos tomados de la zona de estudio, el modelo nos ayuda a minimizar los errores que hay en las gráficas, así poder hacerlos más precisos de los que teníamos antes, ya con estos nos permite realizar los perfiles de resistividad con más exactitud. (Figura 35 a 38).

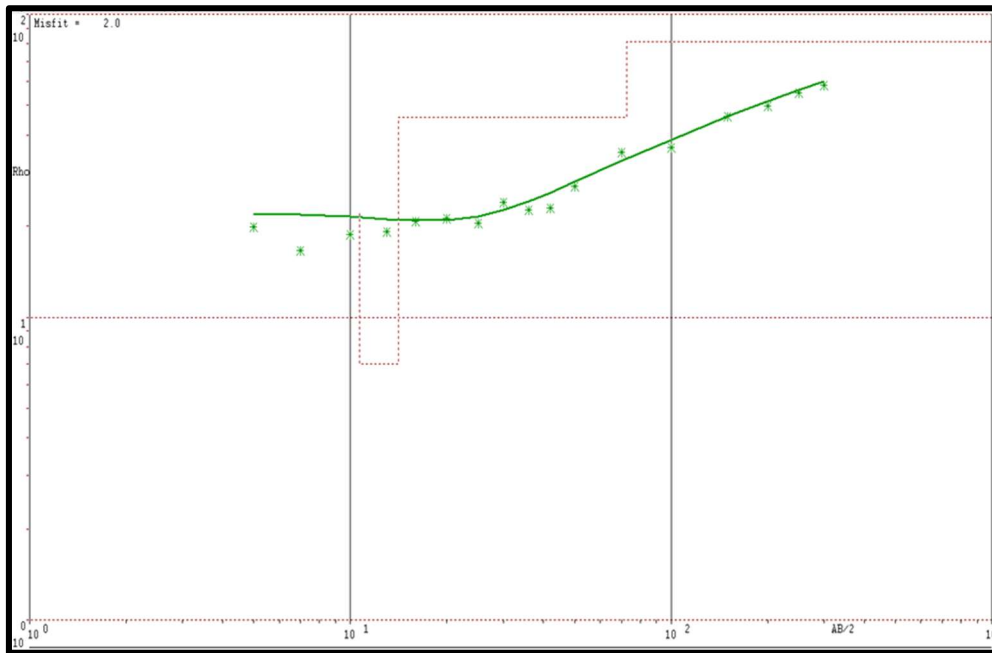


Figura 35 Modelo Inverso del SEV-1.

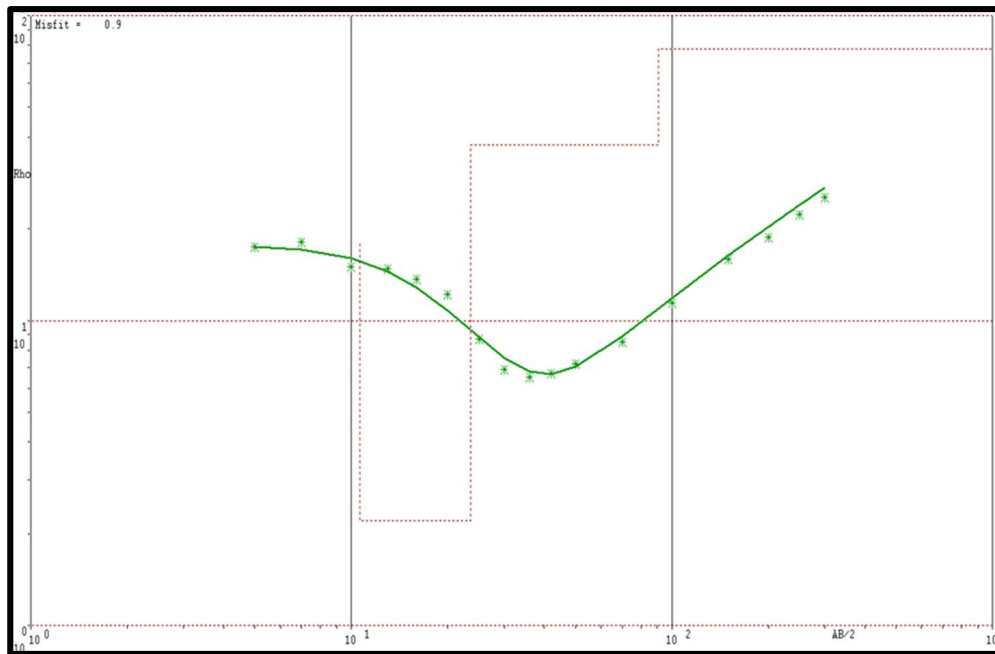


Figura 36 Modelo Inverso del SEV-2.

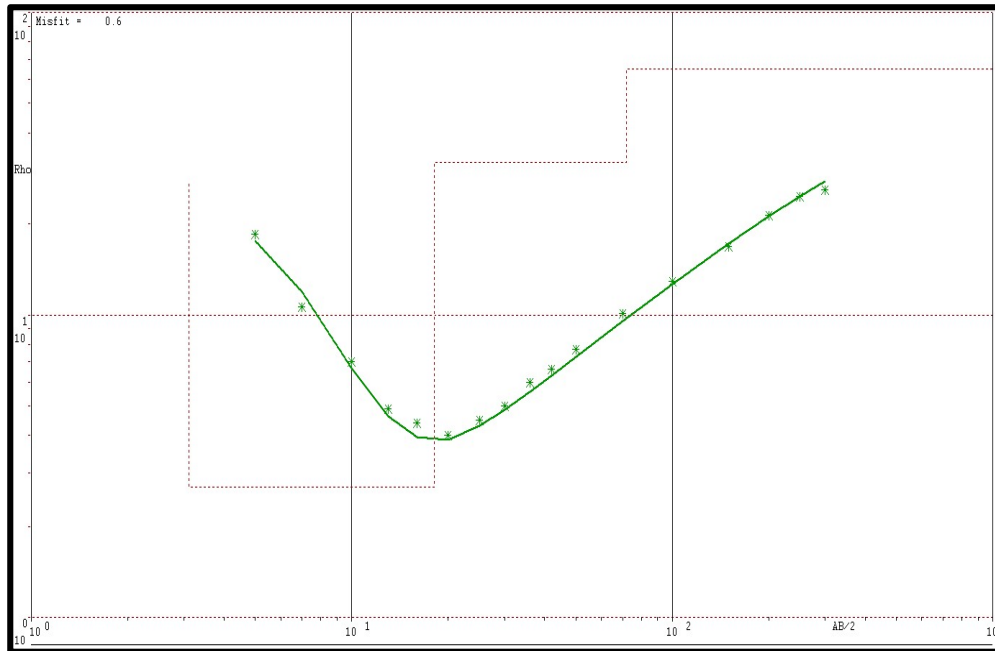


Figura 37 Modelo Inverso del SEV-3.

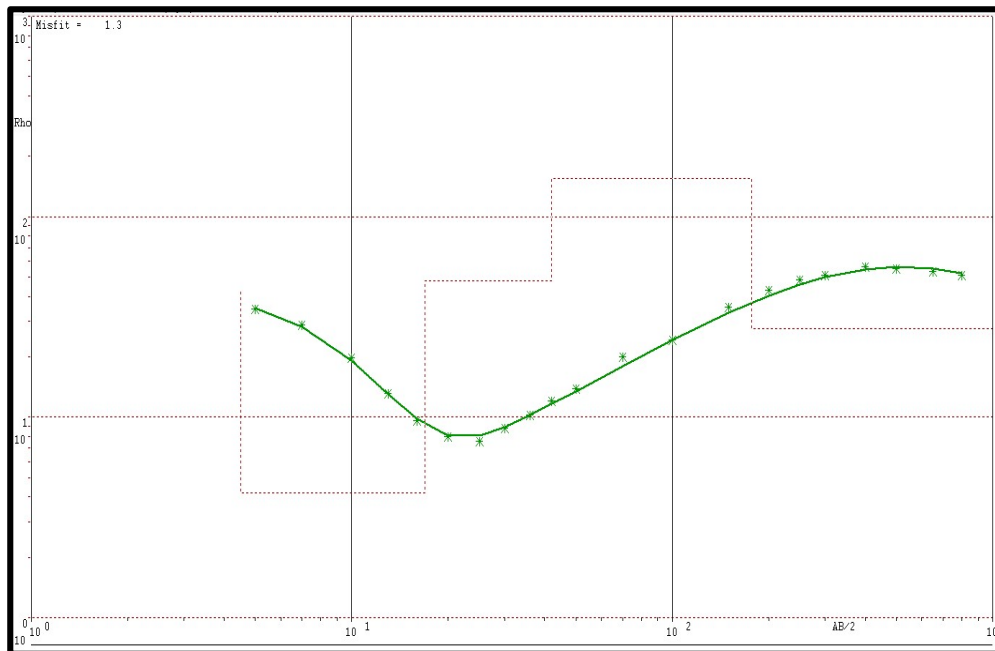


Figura 38 Modelo Inverso del SEV-4.

Perfiles Geoelectricos

Con los datos obtenidos de los modelos de inversión calculados en el apartado anterior y sabiendo que el error de ajuste es mínimo, se realizaron los perfiles de resultados con una profundidad de 200 m, donde se identifican, de la cima a la base arenisca, arenisca-conglomerado, roca ígnea extrusiva acida, andesita y toba.

Perfil 1: Incluye los sondeos SEV-4 y SEV-1 distantes 200 m, atravesando diagonalmente la hacienda en dirección NW-SE, el SEV-1 está muy cerca de las estribaciones del cerro grande y muestra que la unidad superficial tiene mayor espesor en este sitio que en el sondeo SEV-4, por lo que representa depósitos de talud recientes constituidos por arenisca, no se esperan aportaciones de esta unidad debido a que es somera con 4.5 - 11 m de espesor; por debajo se tiene un horizonte de lutitas que tiene un espesor de 12 -3 m , por ser impermeable no aportará agua; en la siguiente se tiene depósitos de roca ígnea extrusiva (tobas riolíticas), con espesor 25 – 59 m, se esperan escasas de aportaciones relacionadas en la época de lluvias, en la próxima capa tenemos andesita fracturada, este tipo de roca la encontramos aflorando en el cerro y actúa como zona de recarga y al final tenemos la toba en donde se encuentra la mayor concentración de agua formando un acuífero libre. (Figura 39).

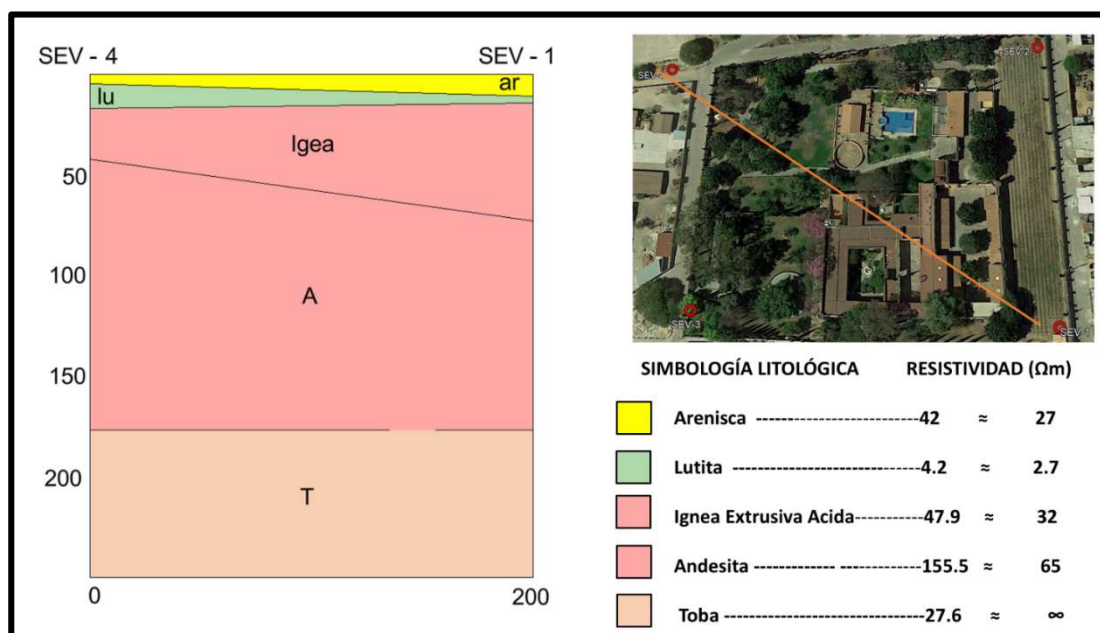


Figura 39 Perfil Geoelectrico 1 del SEV - 4 al SEV - 1.

Perfil 2: Incluye los sondeos SEV-4 y SEV-2 distantes 180 m, atraviesan por el lado norte la hacienda en dirección E-W, el SEV-2 está muy cerca de las estribaciones del cerro grande y muestra que la unidad superficial tiene mayor espesor cerca del cerro 11m, por lo que representa depósitos de talud recientes constituidos por arenisca, no se esperan aportaciones de esta unidad debido a que es somera; por debajo se tiene un horizonte de lutita que tiene poco espesor 12 a 13m, por ser impermeable no aportará agua; en la siguiente se tiene depósitos de roca ígnea extrusiva (tobas riolíticas), cuyo mayor espesor se encuentra en el sondeo SEV.-2 con 67m, se esperan escasas aportaciones relacionadas en la época de lluvias, en la próxima capa tenemos andesita este tipo de roca la encontramos en el cerro y actúa como zona de recarga, al final tenemos la toba en donde se encuentra la mayor concentración de agua formando un acuífero libre. (Figura 40).

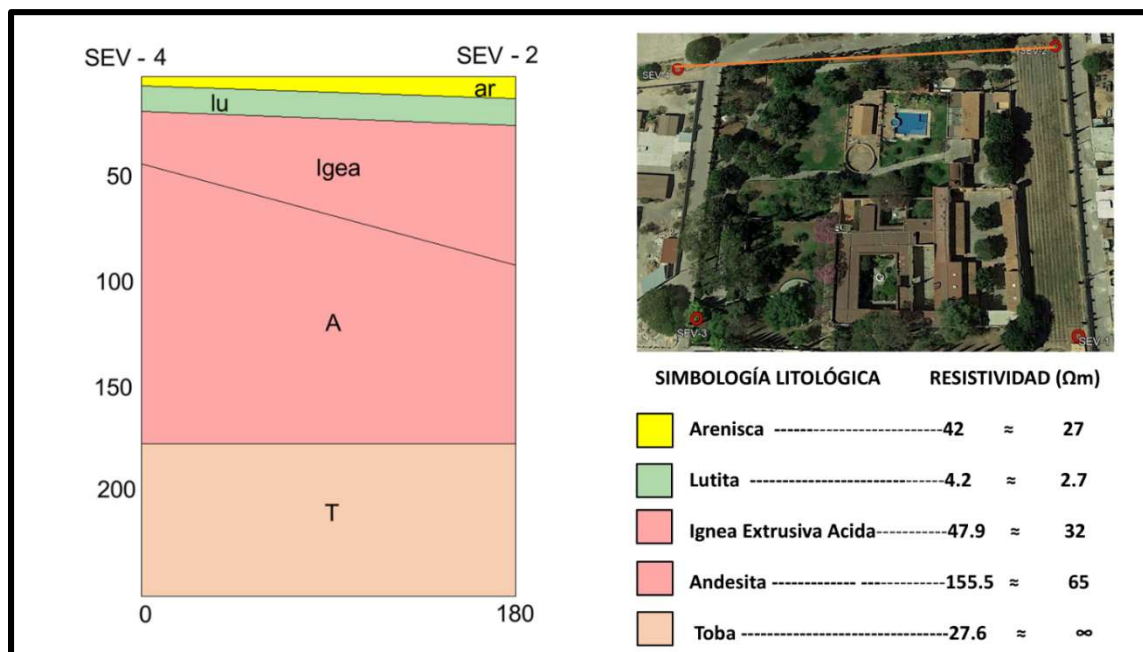


Figura 40 Perfil Geoelectrico 2 del SEV - 4 al SEV - 2.

Perfil 3: Incluye los sondeos SEV-3 y SEV-4 distantes 130 m, atraviesan por el lado este la hacienda en dirección S-N, el SEV-3 muestra que la unidad superficial tiene el mismo espesor que en el sondeo SEV-4, por lo que representa depósitos de talud recientes constituidos por arenisca; por debajo se tiene un horizonte de lutita y por ser impermeable no aportará agua; en la siguiente se tiene depósitos de roca ígnea extrusiva (tobas riolíticas), cuyo mayor espesor se encuentra en el sondeo SEV.-3, se esperan escasas de aportaciones relacionadas en la época de lluvias, en la próxima capa tenemos andesita este tipo de roca la encontramos en el cerro y actúa como zona de recarga del acuífero y al final tenemos la toba en donde se encuentra la mayor concentración de agua formando un acuífero libre. (Figura 41).

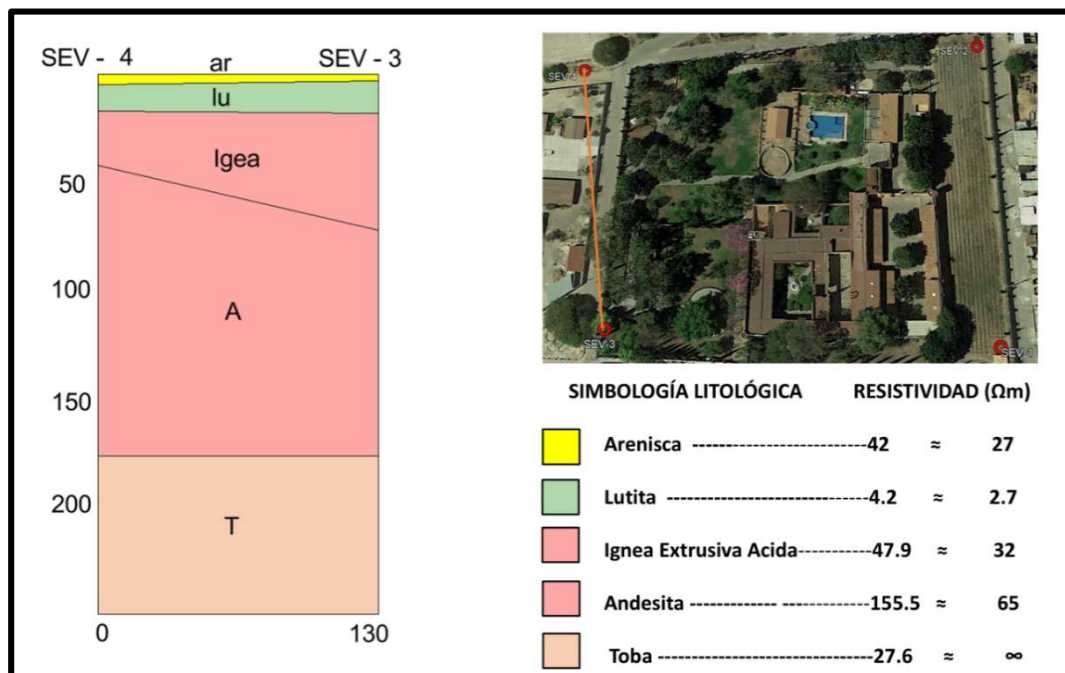


Figura 41 Perfil Geoelectrico 2 del SEV - 4 al SEV - 3.

CAPITULO 5

RESULTADOS

Con la información obtenida en cada uno de los SEVs realizados se obtuvieron los perfiles eléctricos, lo que, aunado con los datos geológicos recabados en la Hacienda y los resultados del censo del pozo existente, localizado a unos cuantos metros del sondeo SEV-4, que alcanza una profundidad de 84 m y del que se bombea una vez al día por dos horas, se puede concluir lo siguiente:

La estratigrafía del subsuelo está representada por cuatro capas, la más somera es material aluvial. Por debajo se encuentran dos capas, la primera de lutita y la segunda de roca ígnea extrusiva (toba riolítica, a una profundidad de 5 y 91 m respectivamente, en lo más profundo se encuentran andesitas como las que se presentan cerca del cerro, podemos decir que constituyen nuestro acuífero, porque las fracturas permiten el flujo del agua que se filtró desde la parte alta y sigue su camino a los acuíferos principales de Querétaro, la última capa es de toba, que representa la unidad acuífera más importante. De la zona.

Los datos de niveles al agua subterránea indican que el flujo regional tiene dirección noroeste, podemos decir que el pozo activo localizado en la Hacienda está en un buen lugar para extraer agua, sin embargo, no tiene la profundidad suficiente para alcanzar un mayor gasto.

Para el problema se tienen diferentes opciones para poder solucionarlo: la primera se recomienda hacer más profundo el pozo existente, Figura 42, hasta alcanzar una profundidad de 220 m, lo que equivale a una mayor profundidad que con la que cuenta actualmente, ya que los perfiles geofísicos indican que la capa de Toba alcanza dicha profundidad, considerando que se puede extraer mayor volumen de agua durante más tiempo o más de una vez al día. (Figura 42).

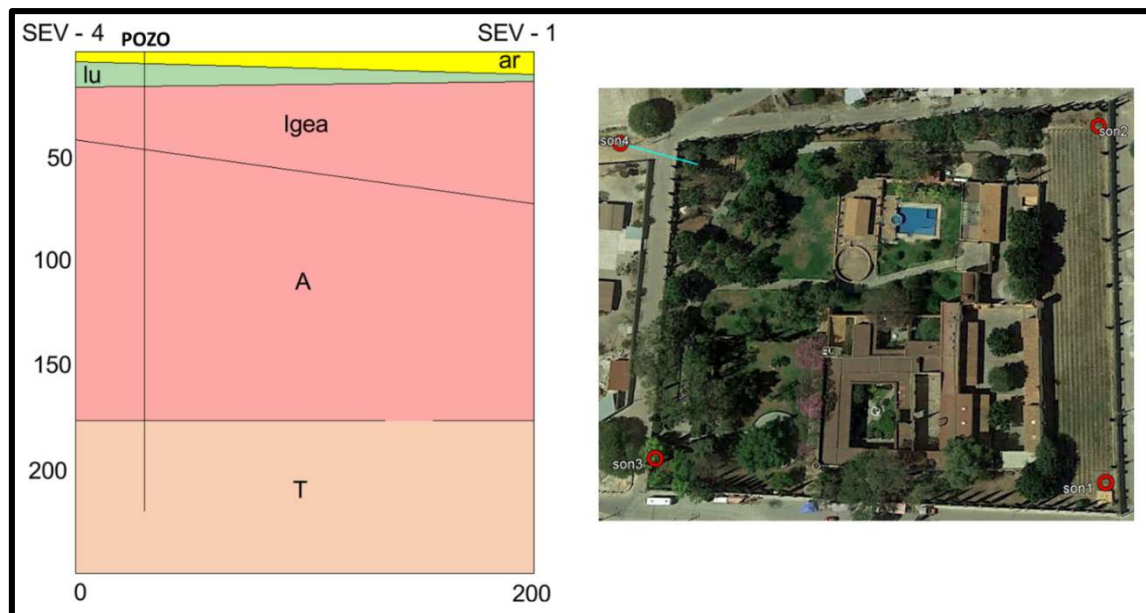


Figura 42 Perfil de resultados SEV-4 a SEV-1, se propone profundizar el pozo actual de 85 a 220 m.

Para poder perforar un nuevo pozo de acuerdo con las indicaciones propuestas, debe contar con las siguientes características constructivas, Figura 43.

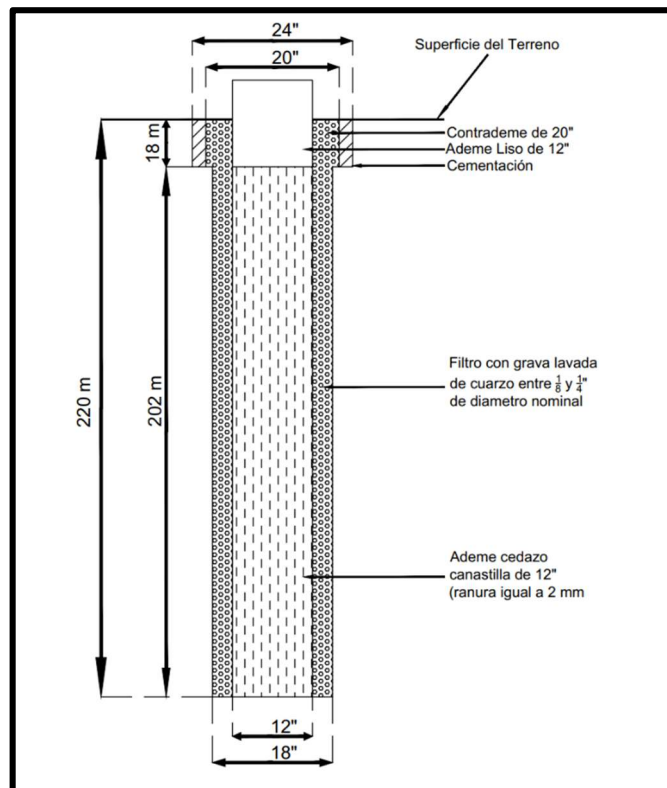


Figura 43 Propuesta constructiva para la perforación de un nuevo pozo.

La segunda es perforar un nuevo pozo en la parte de atrás de la casa de la Hacienda al noroeste del SEV-1, Figura 44, a una profundidad de 220m en el estrato de toba con esto contarían con dos pozos en donde pueden extraer agua, se propone realizar una prueba de bombeo para definir el radio de influencia del cono de abatimiento para no correr con el riesgo que se pueden interferir dada la cercanía entre ambos. O ubicarlo a la mayor distancia posible para no tener este problema.

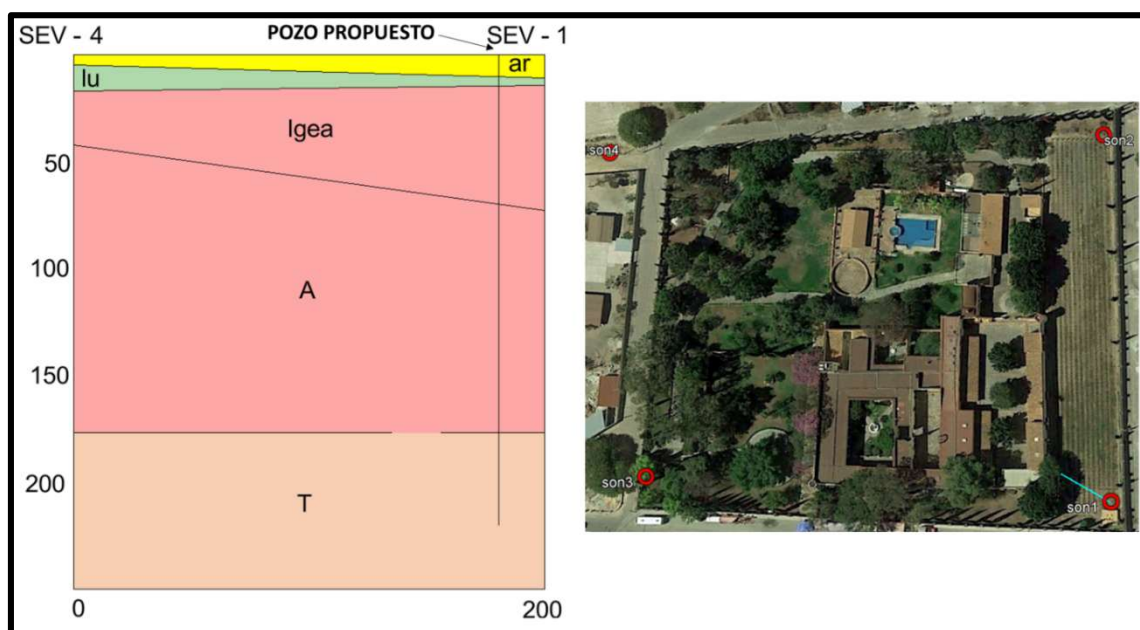


Figura 44 Perfil de resultados SEV – 4 a SEV – 2, propuesta de ubicación de un segundo pozo a una profundidad de 220 m.

La tercera es hacer un nuevo pozo antes de llegar al sembradío de la Hacienda al oeste del SEV-2, Figura 45, a una profundidad de 220 m en el estrato de toba con esto tendrán dos o tres pozos de donde poder pueden extraer agua, eso si los dirigentes y la comunidad desean realizar todas las opciones que se proponen.

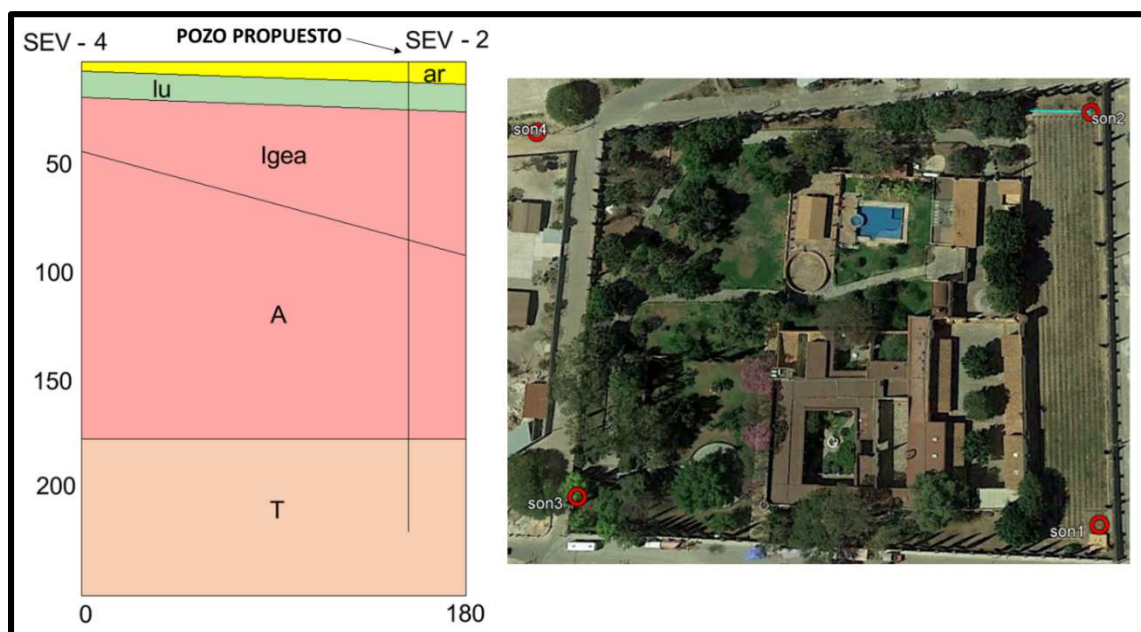


Figura 45 Perfil de resultados SEV – 4 a SEV – 2, se propone hacer un pozo a una profundidad de 220 m.

La última propuesta es que se perfore un nuevo pozo en las afueras de la Hacienda en dirección al noroeste en los sembradíos de la casa que están cerca del SEV-4 con una profundidad de 220 m, ya perforado y construido el pozo, el agua se tendría que conducir hacia la Hacienda para que se puedan abastecer.

RECOMENDACIONES

Para solucionar el problema de la falta de agua en la Hacienda tenemos dos recomendaciones, la primera con el pozo que se encuentra activo hacerlo más profundo porque tiene una buena localización para poder sacar agua y como ya se tiene la infraestructura será más rápido profundizar que empezar a ser uno nuevo.

Pero si quieren tener dos pozos le recomiendo que el segundo pozo se haga con suficiente distancia, para cuando los dos estén en funcionamiento los conos de abatimiento no se junten y así no tengan problemas para sacar o extraer agua, pero si desean ponerlo cerca del pozo activo solo tiene que funcionar uno u otro no los dos juntos.

CONCLUSION

De acuerdo con la integración de los datos antes mencionados se concluye que: El subsuelo del área de estudio presenta cinco tipos de unidades litológicas, siendo la unidad de andesita fracturada la que posee las mejores características de permeabilidad para el movimiento del agua subterránea. Esta capa recibe recarga directa de la sierra cercana.

La mayor concentración de agua se localiza en el contacto entre la andesita fracturada y la toba, lo que sugiere que la zona de mayor interés hidrogeológico se encuentra en este horizonte profundo, consistente con la dificultad de encontrar niveles estáticos someros en los pozos existentes.

La mejor opción para una perforación es hacer más profundo el pozo ya existente y en funcionamiento, pero no debería ser menor 220 m, es necesario alcanzar la unidad de toba y andesita fracturada profunda identificada en los modelos inversos.

Pero si quiere hacer otro pozo y tener en funcionamiento el ya existente se tiene que hacer a la misma profundidad de 220 m, se puede implementar un bombeo alternado 12/12 pero solo se tiene que utilizar uno o el otro no los dos juntos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alaniz-Álvarez, S. A., & Nieto-Samaniego, Á. F. (Eds.). (2007). Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México (Special Paper 422). The Geological Society of America.
2. Auge, M. (2008). Métodos geoelectricos para la prospección de agua subterránea. Universidad de Buenos Aires.
3. Comisión Nacional del Agua. (2023). Estadísticas del Agua en México 2023. CONAGUA.
4. Comisión Nacional del Agua. (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de San Juan del Río (2203), estado de Querétaro. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas.
5. Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Valle de San Juan del Río, A.C. (2008). Plan de manejo integral del acuífero del Valle de San Juan del Río. CONAGUA.
6. Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos. (1988). Sinopsis geohidrológica del estado de Querétaro. Proyecto y Ejecución Editorial.
7. Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Sociedad Geológica Mexicana.
8. Foro Peruano para el Agua. (2011). Aguas Subterráneas – Acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima.
9. García Daguer, R. R., Valtierra, J. G., Bayona Celis, A., & De la Llata Gómez, R. (2001). Uso del suelo y vegetación de la zona sur del Estado de Querétaro. Centro Queretano de Recursos Naturales, CONCYTEQ.
10. Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. T., & Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Sociedad Geológica Mexicana.

11. Hiscock, K. M. (2005). Hydrogeology: Principles and Practice. Blackwell Publishing.
12. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: San Juan del Río, Querétaro. INEGI.
13. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1984). Geología de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
14. Joulia Lagares, A. (2012). Atlas de riesgo del municipio de San Juan del Río, Querétaro. Secretaría de Desarrollo Social.
15. Sánchez San Román, F. J. (2012). Hidrología – Hidrogeología. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca.
16. Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2015). Programa de ordenamiento ecológico local del municipio de San Juan del Río, Querétaro. H. Ayuntamiento de San Juan del Río 2015-2018.
17. Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física (8va ed.). Prentice Hall.
18. Valle González, A., & Zaragoza Contreras, H. U. (2019). La recarga de acuíferos: Análisis de su estimación de acuerdo con la información disponible, el caso del acuífero del valle de San Juan del Río, Querétaro. Universidad Autónoma del Estado de México.
19. Villarroya, F. (2009). Tipos de acuíferos y parámetros hidrogeológicos. Jornadas Técnicas sobre Aprovechamiento de Aguas Subterráneas para Riego, Universidad Complutense.