



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio Hidrogeofísico para la localización
del sitio de perforación de un pozo
profundo como apoyo social en la
comunidad "El Palmar" en Papantla,
Veracruz: Método de transitorio
electromagnético.**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniero Geofísico

P R E S E N T A N

Luis Sebastián Roque Pineda

Yektly Jair Ochoa Varela

DIRECTOR DE TESINA

Ing. Alberto Arias Paz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., marzo 2018

Resumen

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) recurrió a The Hydrogeology Group en Facultad de Ingeniería de la UNAM para un proyecto de carácter social en la comunidad congregación “El Palmar” en el estado de Veracruz. El objetivo era determinar la viabilidad de un proyecto que solucionara la escasez de agua que afecta a dicha comunidad, en el contexto de un proyecto carretero de la Secretaría.

En este escrito se presentan los pasos que se siguieron para resolver esta problemática, se describen las actividades realizadas en las visitas a la comunidad, así como el posterior procesamiento de los datos en gabinete.

Se analizó la construcción de un pozo profundo como solución principal. Para esto se atacó el problema desde tres diferentes aspectos: la hidrogeología para caracterizar el acuífero, la calidad de agua para ver si era apta para uso humano, y la geofísica para localizar la roca saturada en caso de que existiese una.

Los estudios hidrogeológicos mostraron la presencia de una roca con potencial de contener agua en el subsuelo, que se tuvo que corroborar con geofísica. De igual manera los estudios químicos a diferentes norias y manantiales de la zona no reflejaron presencia de ningún contaminante de gran peligro, sólo algunos que pueden ser tratados fácilmente.

El método geofísico utilizado fue el de transitorio electromagnético en el dominio del tiempo (TEM) que ha mostrado buenos resultados con anterioridad en la caracterización de acuíferos y este trabajo no fue la excepción, las secciones obtenidas con este método fueron el factor más importante para las conclusiones finales del proyecto.

Como conclusión se propone la localización exacta para construir un pozo profundo junto con todas las especificaciones de éste, también se da una segunda sugerencia de menor presupuesto en caso de ser requerida.

Abstract

Mexico's Secretariat of Communications and Transportation (SCT) appealed to UNAM's Faculty of Engineering Hidrogeology Group, for a project of social nature in the community of "El Palmar" in the state of Veracruz. The goal was to analyze the viability of a project that solved the lack of water that affects the community, in the context of a highway project to be made by the Secretariat.

In this writing, the steps that were followed to solve this problem are presented. It describes the activities made during the visits to the community, and also subsequent data processing.

The main solution was the making of a deep well, after this problem was faced from three different points: the hydrogeology to understand the aquifer, the water quality to verify if it was consumable, and the geophysics to locate the water-saturated rock, if there is any.

The hydrogeology studies showed the presence of a rock with potential to contain water that had to be double checked with geophysics. Similarly, the water quality analysis made to a variety of wells and springs in the zone didn't show any contaminant that could mean great danger to the people, just a few easily treatable ones.

The geophysical method of choice was the Transient Electromagnetic Method (TEM) which previously has shown great results in the characterization of aquifers, and this work was no exception, since the profiles that were obtained with this method were the most important factor for the final conclusions of the project.

As a conclusion, the exact location to build the deep well is proposed, as well as all the specifications of this work. Also, a second possibility in case of a lower budget is presented.

Índice

| | |
|---|----|
| Capítulo 1. Introducción | 3 |
| 1.2 Objetivos..... | 4 |
| 1.2 El Servicio Social en la Facultad | 5 |
| Capítulo 2. Marco Teórico | 7 |
| 2.1 Conceptos fundamentales de Hidrogeología | 7 |
| 2.1.1 Ciclo hidrológico | 7 |
| 2.1.2 Hidrogeología | 7 |
| 2.1.3 Rocas contenedoras de agua | 10 |
| 2.1.4 Pruebas de bombeo | 11 |
| 2.2 Método de transitorio electromagnético en el dominio del tiempo (TEM) | 12 |
| 2.2.1 Resistividad eléctrica | 12 |
| 2.2.2 TEM..... | 13 |
| 2.3 Hidrogeología de contaminantes | 16 |
| 2.3.1 Norma Oficial Mexicana 127 | 16 |
| 2.3.2 Análisis químicos | 17 |
| 2.3.3 Características de los principales solutos. | 18 |
| 2.3.4 Interpretación de los análisis químicos | 20 |
| Capítulo 3. Antecedentes | 23 |
| 3.1. Ubicación y generalidades..... | 23 |
| 3.2. Estudios previos | 24 |
| 3.3. Geología y fisiografía | 25 |
| Capítulo 4. Metodología | 29 |
| 4.1 Verificación geológica | 29 |
| 4.2 Censo de pozos y muestreo de agua | 30 |
| 4.3 Piezometría | 33 |
| 4.4 Pruebas de bombeo | 34 |
| 4.5 Exploración Geofísica | 35 |
| 4.6 Calidad del agua subterránea | 37 |
| Capítulo 5. Resultados | 39 |
| 5.1 Hidrogeología | 39 |
| 5.2 Geofísica | 41 |
| 5.3 Calidad del agua | 46 |

| | |
|--|----|
| Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones | 52 |
| 6.1 Conclusiones | 52 |
| 6.2 Recomendaciones | 54 |
| Bibliografía | 59 |

Capítulo 1. Introducción

La Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948), declara que. “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado (...)” (Art. 25). En la actualidad, este derecho universal, ha visto frenado su paso en ciertas partes del planeta, pues si consideramos que muchas personas no pueden acceder a los servicios básicos para sobrevivir, vemos claramente que su nivel de vida no es el deseable ni por ellos ni por quienes les rodeamos.

El agua es un recurso fundamental para todas las formas de vida en la Tierra, pero a pesar de su importancia, a nivel mundial 1 de cada 10 personas no tiene acceso a agua de calidad, y 1 de cada 3 acceso a drenaje. (UNICEF, 2015).

En México, según el INEGI, el 89% de las viviendas tienen acceso a agua y drenaje entubado dentro de su hogar. Estos datos son en apariencia buenos, pero hay que tomar en cuenta otros factores, como el hecho de que las comunidades de escasos recursos son las menos favorecidas, pues la mayoría de las veces no se le invierten los mismos recursos que en las grandes ciudades del país.

El agua subterránea resulta ser una fuente importante para poder atacar directamente parte de estos problemas, pues hasta el 2015, CONAGUA reportaba un volumen del 38.7% del total utilizado, presentaba este origen.

Muchas comunidades no cuentan con la infraestructura necesaria para tener agua todo el año, muchas veces sólo tienen una noria en su hogar que en época de estiaje se seca, disminuyendo su calidad de vida durante ese tiempo.

La situación económica de estas comunidades no permite que puedan costearse lo necesario para tener agua todo el año, ya que no sólo requieren de un estudio en la zona para localizar el mejor sitio para extracción, también la construcción de un pozo profundo, del cual el funcionamiento y mantenimiento generan grandes gastos que no pueden cubrirse en comunidades con tales características.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha impulsado el progreso del país, conectando ciudades con megaproyectos de carreteras que traen grandes

beneficios, no sólo a los transportistas sino a la población en general. Pero ¿Cuál es el costo de estas obras? La mayoría de las veces, la SCT no tiene la posesión de todas las tierras en las que construirá, o por lo menos no antes de construir en ellas, por lo que tiene que llegar a formar acuerdos con los propietarios, formar acuerdos porque esas tierras serán expropiadas se llegue o no a éstos.

En la Facultad de Ingeniería de la UNAM se cuenta con un grupo de especialistas en la exploración y diseño de fuentes hídricas, es un equipo multidisciplinario con geocientíficos de diferentes áreas. Aunque algunos trabajos que realizan son remunerados, también se tienen proyectos que benefician a la sociedad sin costo alguno.

En este proyecto se combinan todos los puntos anteriores, se tiene un problema de escasez de agua en una comunidad de escasos recursos en Veracruz, por la que pasará una nueva carretera, afectando algunas captaciones de agua subterránea, y la SCT ha pedido el apoyo de The Hydrogeology Group para que apoyen en la elaboración de los estudios exploratorios en esta comunidad y así se pueda aprovechar de mejor manera el recurso subterráneo en la zona sin que el trazo de la carretera ocasione mayores complicaciones.

En este trabajo se presentan las metodologías empleadas y los resultados obtenidos para dar una posible solución al problema suscitado. Se abordan desde un punto de vista hidrogeológico, geofísico y de calidad de agua, para al final poder realizar una integración de toda la información recolectada y disponible para el área de estudio.

1.1 Objetivos

En Veracruz:

Determinar la viabilidad de un pozo profundo para abastecer a la Congregación El Palmar de manera permanente con agua potable.

En la Facultad:

Fomentar una cultura de Servicio Social que tenga un impacto directo en la población y promover la Titulación por Servicio Social como una opción viable de titulación.

1.2 El Servicio Social en la Facultad

El Servicio Social surgió en el periodo en que era presidente de la República el General Lázaro Cárdenas (1934 – 1940), aunque su proyecto educativo es reconocido a través de la historia, éste no fue favorable para la Universidad, por estar enfocado a las clases más desprotegidas y los universitarios eran considerados ciudadanos privilegiados.

La reforma en el artículo 3° provocó un conflicto entre Fernando Ocaranza, el entonces rector de la Universidad (1934 – 1935) y la Secretaría de Educación Pública, que terminó con la renuncia del rector y la sucesión a Luis Chico Goerne (1935 – 1938). Este último criticó la investigación científica hecha en la Universidad y propuso que ésta se hiciera para “contribuir a la solución de los grandes dolores del pueblo”.

Goerne logra en 1937 firmar un convenio entre la Universidad y el Gobierno federal en el que se declara: “Se implantará en todas las facultades y escuelas universitarias Servicio Social obligatorio para obtener título universitario” y “Se preparará debidamente a los estudiantes impartíendoseles cursos especiales sobre nuestros principales problemas”.

La persona encargada de instrumentar este programa fue Gustavo Baz, quien era director de la Escuela Nacional de Medicina. Desde 1936 había iniciado un Servicio Social para sus pasantes quienes se desplazaban a diversas comunidades del país en los que no existían servicios médicos y sanitarios. Gustavo Baz toma el puesto de rector de la Universidad en 1938 y el programa de Servicio Social comienza a expandirse a las otras escuelas (Ingeniería, Ciencias Químicas, Veterinaria y Arquitectura).

Cabe mencionar que desde el cambio al artículo 3° la Universidad vivía limitada económicamente por las diferencias con el Estado que restringía el presupuesto. Gustavo Baz consiguió el apoyo de la Secretaría de Hacienda en 1936 gracias a la implementación del Servicio Social.

A partir del establecimiento del Servicio Social, la universidad no tuvo que volver a pelear más por apoyo económico, fue el valor de este servicio lo que permitió obtener recursos para continuar su desarrollo y además logró restaurar su prestigio y su utilidad social ante el Gobierno y la sociedad mexicana.

Es importante mencionar el origen del Servicio Social ya que hoy en día se ha ido perdiendo el propósito con el que se inició. En la Facultad de Ingeniería la gran mayoría de los servicios sociales se realizan dentro de la misma, muchas veces asistiendo a un profesor, calificando tareas y exámenes o cuidando a los alumnos durante la aplicación de los mismos.

Durante la realización de este trabajo se habló de la falta de una cultura de Servicio Social en la Facultad donde no se vuelva un trámite más de titulación, sino un trabajo donde los alumnos puedan vivir la realidad de los problemas del país, y aplicar los conocimientos adquiridos en la Universidad para solucionar “los grandes dolores del pueblo” como lo quiso Goerne cuando lo implementó en 1937.

El Servicio Social es quizás el factor más importante del prestigio que tiene la Universidad en el país, y tiene un gran peso a la hora de asignar el presupuesto federal que recibimos. Por estas razones se necesita una mayor difusión de servicios realmente de carácter social y recuperar esa cultura de Servicio Social que se ha ido desviando de sus principios a través de los años.

La Universidad otorga anualmente el Premio Gustavo Baz Prada a los alumnos que se hayan distinguido por su participación en programas de Servicio Social dirigidos a la población menos favorecida. Los autores de este escrito fueron merecedores de dicho premio en 2017 gracias al proyecto descrito en este trabajo.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Conceptos fundamentales de Hidrogeología

Uno de los grandes objetivos de este trabajo es comprender el comportamiento del agua subterránea contenida en las formaciones involucradas en el estudio. Para ello es necesario entender primero algunos conceptos clave que nos ayudaran a explicar mejor el sistema de flujo subterráneo y con ello poder hacer una elección correcta de la zona donde se puede extraer una mayor cantidad de agua.

2.1.1 Ciclo hidrológico

El planeta Tierra funciona como un sistema, dentro del cual podemos encontrar múltiples subsistemas que ayudan a que la materia se recicle una y otra vez (Tarbuck, 2005). Uno de los subsistemas más importantes es el ciclo hidrológico (Fig 2.1.1), cuyo motor principal es la energía que nos brinda el Sol. En este ciclo podemos encontrar al protagonista (el agua) en sus tres estados, el *gaseoso*, cuando el Sol calienta la superficie terrestre y la evapora de los mares, lagos y lugares donde se almacena de forma natural o artificial, el *líquido*, cuando se condensa en la atmosfera en forma de nubes y después desciende en forma de lluvia, la cual puede ser también *sólida*, y la encontramos como granizo o nieve. De esta forma el agua regresa a la superficie y se presenta en forma de escorrentías que guían a este compuesto de nuevo a los almacenamientos iniciales. En esta etapa, parte del agua logra infiltrarse al subsuelo, llegando a formar grandes reservorios, que es lo que conocemos como *agua subterránea* y será la parte de este subsistema en la que nos concentraremos para el estudio.

2.1.2 Hidrogeología

“La hidrogeología es una faceta de la hidrología que trata de las aguas que están almacenadas y discurren dentro de la tierra” (SGM,2017).

Para que el agua pueda ser almacenada y transmitida, necesita un lugar en el cual pueda hacerlo. *El medio geológico* es la estructura física, que puede estar formada por roca o sedimentos, que conforma el espacio por el cual el agua podrá existir en el subsuelo.

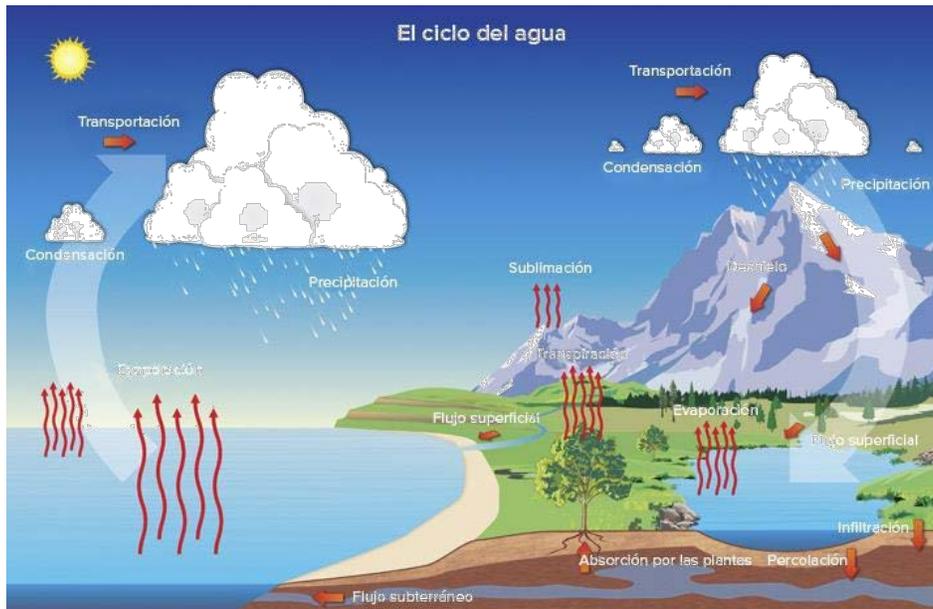


Fig. 2.1.1. El ciclo del agua. NOAA National Weather Service Jetstream.

Las rocas tienen un gran número de propiedades que nos ayudan a entender, entre otras cosas, como se mueven los fluidos a través de ellas. *La porosidad* (Φ) es una de las más importantes y nos indica la relación del volumen de espacio vacío de la roca entre el volumen total de la misma:

$$\Phi = \frac{V_v}{V_t} \times 100\%$$

Donde:

%

Este espacio vacío, conocido como *poros*, es lo que explica como los fluidos pueden ser contenidos en la roca.

Pero no solo nos interesa que exista algún tipo de fluido en la roca, también nos interesa conocer cómo se mueve o podría moverse a través de ella. Esto nos puede indicar la conexión que existe entre los poros, donde podemos encontrar los siguientes casos:

- *Porosidad efectiva*: expresa la cantidad de poros que se encuentran interconectados y por los cuales un fluido podrá moverse.

por lo anterior, dichas propiedades se especificaran de manera cualitativa en esta sección.

2.1.3 Rocas contenedoras de agua

No todas las rocas pueden almacenar y distribuir de igual manera una cierta cantidad de agua, por lo que es necesario saber en qué tipo de roca se encuentra para saber si es viable tener acceso a ella y de qué manera se tiene que proceder. Para ello se cuenta con la siguiente clasificación, que se basa principalmente en la granulometría del medio:

- *Acuífero*: Rocas capaces de almacenar y transmitir cantidades significativas de agua a captaciones naturales (manantiales) y artificiales (pozos).
- *Acuitardos*: Rocas que almacenan agua pero que la transmiten de manera lenta (poco permeables).
- *Acuicludos*: Rocas que almacenan agua, pero no la transmiten (porosidad efectiva baja).
- *Acuifugos*: Rocas prácticamente impermeables, que no almacenan ni transmiten agua.

Nuestro interés se centra entonces en encontrar y conocer un acuífero, pues está claro que se obtendrían mayores beneficios de él con un menor esfuerzo. Generalmente no encontramos a los acuíferos de forma aislada y de hecho es más común encontrar intercalaciones de distintos paquetes de roca que generan ambientes que se deben identificar de manera precisa para poder optimizar la extracción del agua, por lo cual los acuíferos se pueden clasificar de la siguiente manera, basado principalmente en la diferencia de presiones a la que están siendo sometidos:

- *Acuífero libre*: Es un acuífero donde el agua subterránea presenta una superficie libre, que es el límite superior a la zona saturada, sujeta solo a la presión atmosférica.

- *Acuífero confinado*: Es un acuífero limitado superior e inferiormente por formaciones impermeables (Acuifugos o Acuicludos) donde el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica.
- *Acuífero semiconfinado*: Es un acuífero sometido en su parte superior por formaciones menos permeables (Acuitardos), a través de las cuales reciben agua.

Estas marcadas diferencias de presión, generan que el nivel superior de la zona saturada tenga diferentes valores de potencial por lo cual adquiere un nombre especial, según el tipo de acuífero:

- En acuíferos libres: se denomina *nivel freático*
- En acuíferos confinados y semiconfinados: se denomina *nivel piezométrico*

Una forma más sencilla de visualizar se logra con un esquema sintetizado (figura 2.1.2):

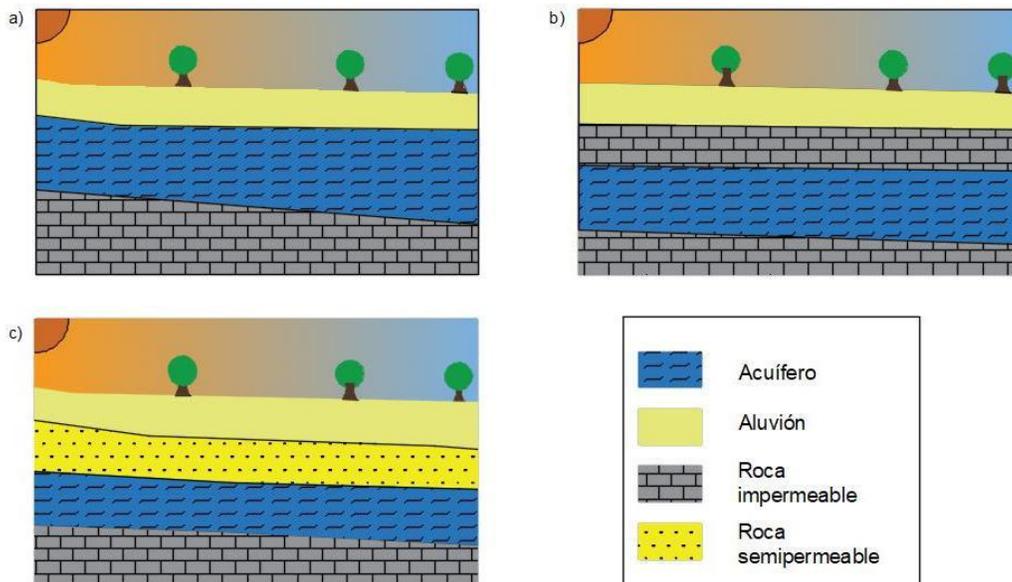


Fig. 2.1.2. Distintos tipos de acuíferos: a) Acuífero libre, b) Acuífero confinado, c) Acuífero semiconfinado. Elaboración propia.

2.1.4 Pruebas de bombeo

El acuífero es el protagonista en cualquier estudio hidrogeológico, pues es de donde podemos obtener el agua que se está buscando. Pero para entender cómo funciona y conocer algunos parámetros de interés, sobre todo para poder optimizar su

explotación (y no llegar a la sobre-explotación), se realizan pruebas en campo, conocidas como pruebas de bombeo que se realizan con la ayuda de un conjunto de pozos. Dichas pruebas consisten en poner en acción una bomba para que inicie extracción de agua en el acuífero, y con la ayuda de una sonda, medir el descenso en el nivel (freático o piezométrico) en ciertos intervalos de tiempo, teniendo así, como datos de entrada para analizar: tiempo y abatimiento del nivel (distancias).

Toda esa información se analiza con ayuda de diferentes modelos matemáticos, para poder obtener información del acuífero (conductividad hidráulica, almacenamiento específico, transmisividad, entre otros), algunos de ellos son:

- Neuman (acuíferos libres)
- Hantus-Jaco (acuíferos semiconfinados)
- Theis (acuíferos confinados)

2.2 Método de transitorio electromagnético en el dominio del tiempo (TEM)

Los métodos geofísicos son una herramienta fundamental en materia de exploración de nuestro planeta. Consisten básicamente en la obtención de un número determinado de algún tipo de muestras sobre el terreno, para determinar con ellas la distribución espacial en el subsuelo de una o varias propiedades físicas.

2.2.1 Resistividad eléctrica

Dentro de las múltiples propiedades que podemos explorar en las rocas, las de nuestro especial interés en este trabajo son la eléctricas, en específico la *resistividad* (ρ) que se define como la resistencia eléctrica específica de un determinado material a través de una sección transversal de 1 m^2 y con una longitud de 1 metro, sus unidades en el Sistema Internacional son ohmios por metro ($\Omega \cdot \text{m}$). Un valor alto de resistividad indicara la presencia de un material poco conductor de la corriente eléctrica y viceversa.

La resistividad eléctrica de las rocas es una de las propiedades más importantes que nos ayuda a ubicar una zona saturada con agua, esto con la ayuda de un mapa (distribución horizontal) o sección (distribución vertical) geoelectrónicos, debido a que

el agua contenida en los acuíferos tiene iones disueltos y éstos facilitan el paso de la corriente eléctrica inducida, por lo que la zona saturada se podrá identificar, desde un punto de vista geofísico, con valores bajos de resistividad.

2.2.2 TEM

El TEM es un método de exploración geofísica en el que se aplica a través de una *bobina transmisora* un pulso de corriente eléctrica I , que se corta abruptamente para producir un campo magnético primario, el cual induce corrientes que al interactuar con los materiales que están alrededor (incluyendo los del subsuelo) crean campos magnéticos secundarios los cuales medimos con ayuda de una *bobina receptora* (Fig. 2.2.1).

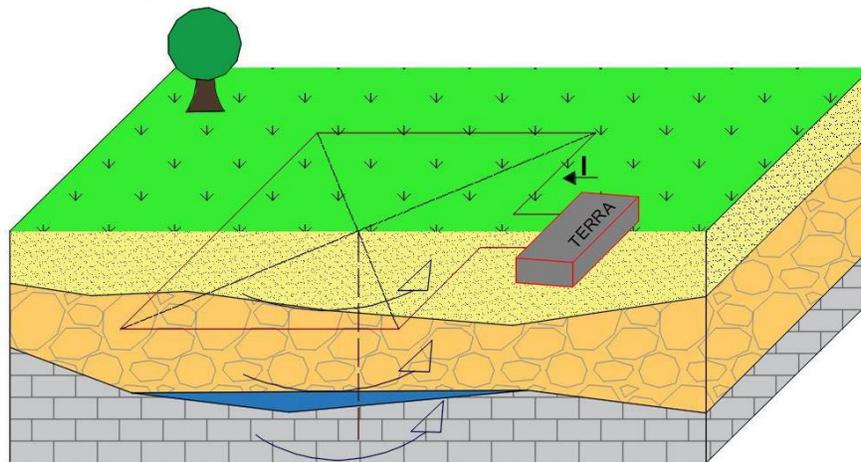


Fig. 2.2.1. Esquema sobre la operación en campo de un TEM. Las líneas azules muestran la posición de los campos secundarios. Elaboración propia.

Este fenómeno se conoce como *transitorio electromagnético*, en el cual analizamos el decaimiento del voltaje de los campos secundarios respecto al tiempo (Fig. 2.2.2). A partir de estos datos logramos obtener valores de resistividad aparente (ρ_a) (Ec. 2.2). Una vez obtenidos, se realiza la inversión de los datos para llegar a los valores reales de resistividad de la roca.

Donde:

$$\rho_a = \frac{2\beta}{\pi} \dots (2.2)$$

ρ_a = resistividad aparente (ohm m)
 β = constante de integración (ohm m)

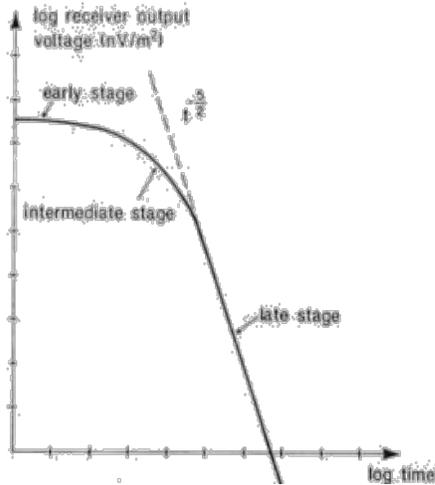


Fig. 2.2.2. Grafica log-log del registro del decaimiento del voltaje en la bobina receptora. La parte que se analiza y procesa es la "tardía", donde encontramos que la curva tiene una pendiente de $-5/2$. Technical Note 27, GEONICS.

Este método entra en la clasificación de sondeo, por lo que las lecturas hechas serán asignadas a partir de un punto sobre la superficie terrestre y sus variaciones corresponderán a diferentes profundidades sobre ese mismo punto (Fig 2.2.3). Obteniendo varios sondeos a lo largo de una línea recta se puede realizar un perfil en el cual se puede construir una sección geoelectrica interpolando los valores de resistividad entre los diferentes sondeos. La profundidad que logre penetrar este sondeo es variable y depende de los parámetros utilizados durante la adquisición y las condiciones del terreno. Se puede realizar una aproximación con ayuda del Skin Depth aunque en la práctica este valor suele aproximarse de diferente manera (Ec. 2.3).

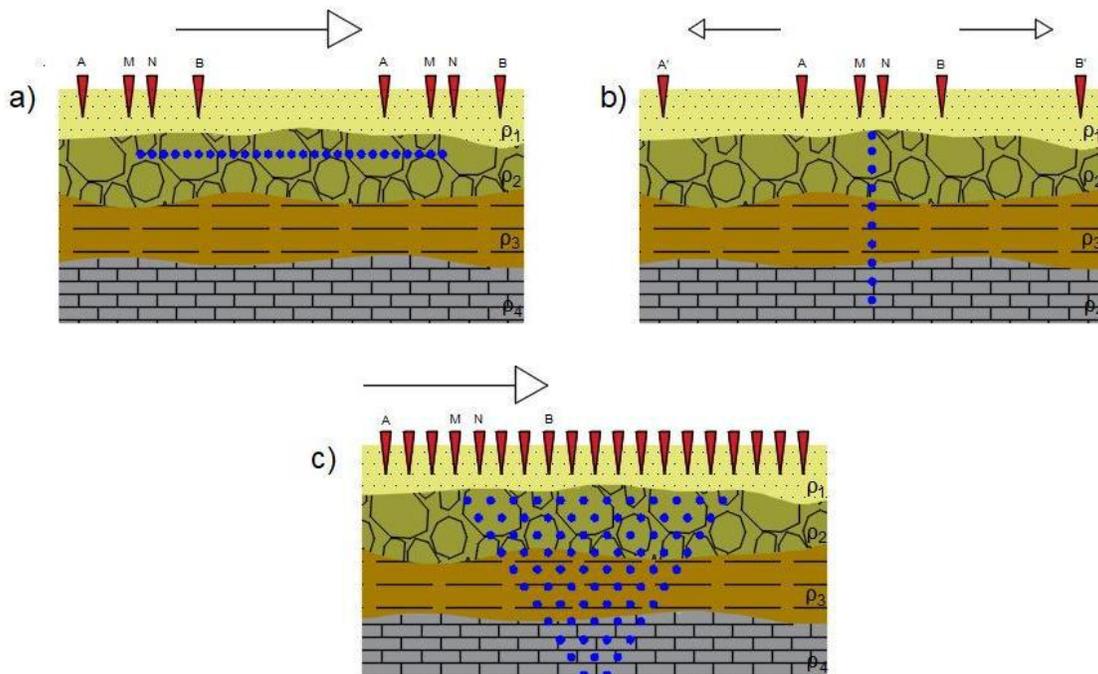


Fig. 2.2.3. Distintos tipos de investigación eléctrica usando electrodos en un medio estratificado con un arreglo tipo Schlumberger. a) Calicata, b) Sondeo, c) Tomografía. Los puntos azules muestran los distintos puntos de atribución. Elaboración propia.

$$\frac{1}{\dots}$$

Donde:

\equiv
 $\equiv \dot{A}$
 $\equiv \dot{A}$

Para realizar la adquisición de los datos, se requiere la construcción de un par de bobinas, una actuará como emisora de la corriente y otra como receptora, ambas conectadas a un dispositivo, el cual inyectará la corriente, hará el corte de la misma y realizará las lecturas de los cambios del campo magnético que atraviesa las formaciones rocosas. Existen diversos arreglos en los que podemos posicionar las bobinas y el que elijamos será según nuestros objetivos en la práctica (Fig 2.2.4).

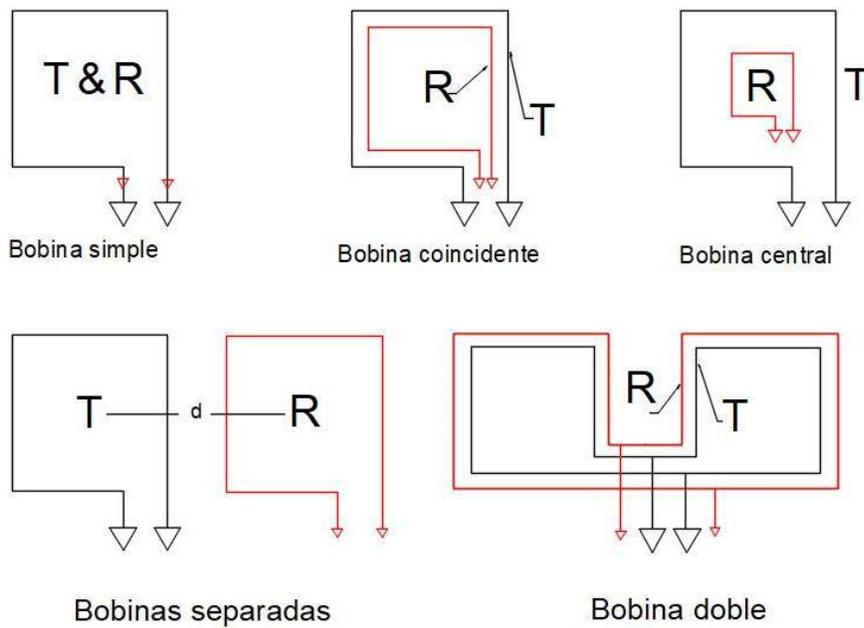


Fig. 2.2.4. Arreglos de bobinas, usados comúnmente en campo. Elaboración propia.

2.3 Hidrogeología de contaminantes

El agua subterránea, al igual que el agua superficial, es afectada directamente por contaminantes naturales y antropogénicos, que, al filtrarse desde la superficie, llegan al acuífero, afectando la calidad de éste, llegando a representar un peligro si es consumida por personas.

Otro factor importante en la composición del agua subterránea es la matriz de roca que la contiene. Al fluir el agua a través de esta matriz, y por la naturaleza polar de su molécula, puede llegar a adquirir una gran cantidad de iones que afectan su calidad.

La importancia de conocer y controlar la calidad del agua radica en la salud humana, el agua debe cumplir ciertos estándares antes de poder ser consumida por el ser humano, existen decenas de elementos que pueden ser dañinos, incluso mortales si son ingeridos por nosotros, o en algunos casos el simple contacto con ellos puede llegar a tener grandes afectaciones a la salud.

2.3.1 Norma Oficial Mexicana 127

La calidad del agua para consumo humano en México está regulada por la Norma Oficial Mexicana: *NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"*, donde se indican, principalmente, los límites permisibles de los iones y solutos, así como de otros parámetros para el uso y consumo humano, y de los tratamientos de potabilización en caso de que se rebasen estos límites.

El agua subterránea rara vez cumplirá con las normas regulatorias cuando es extraída, por las razones antes mencionadas, por lo que necesitará un proceso de potabilización hasta que sea apta para uso humano.

2.3.2 Análisis químicos

Las muestras de agua a consumir deben ser analizadas en un laboratorio para obtener la cantidad de iones y solutos que esta contiene, con el fin de establecer el tratamiento necesario para hacerla factible para consumo humano.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros que se miden en laboratorio, así como los límites permisibles por la NOM-127-SSA para cada uno de ellos.

| Parámetro | Unidad | NOM-127-SSA | Parámetro | Unidad | NOM-127-SSA |
|-----------------------------|--------|-------------|-----------------------|------------|-------------|
| Color real / Color aparente | Upt/Co | 20 | Bario | mg/L | 0.7 |
| Olor | - | Inoloro | Cadmio | mg/L | 0.005 |
| Turbiedad | NTU | 5 | Cianuros | mg/L | 0.07 |
| Sabor | - | Agradable | SAAM | mg/L | 0.5 |
| DBO5 | mg/L | - | Boro | mg/L | - |
| DQO | mg/L | - | Potasio | mg/L | - |
| Sólidos Totales | mg/L | 1000 | Calcio | mg/L | 300 |
| Cloruros | mg/L | 250 | Acidez | mg/L | - |
| Fluoruros | mg/L | 1.5 | Sílice | mg/L | - |
| Sulfatos | mg/L | 400 | Nitrógeno de Nitritos | mg/L | 0.05 |
| Aluminio | mg/L | 0.2 | Nitrógeno de Nitratos | mg/L | 10 |
| Arsénico | mg/L | 0.05 | Nitrógeno amoniacal | mg/L | 0.5 |
| Cadmio | mg/L | 0.005 | Nitrógeno Orgánico | mg/L | 0.1 |
| Cobre | mg/L | 2 | Dureza Total | mg/L CaCo3 | 500 |
| Cromo total | mg/L | 0.05 | Dureza de calcio | mg/L CaCo3 | - |
| Fierro | mg/L | 0.3 | Dureza de Magnesio | mg/L CaCo3 | - |
| Magnesio | mg/L | 300 | Alcalinidad Total | mg/L CaCo3 | 300 |
| Manganeso | mg/L | 0.15 | Bicarbonatos | mg/L CaCo3 | - |
| Mercurio | mg/L | 0.001 | Carbonatos | mg/L CaCo3 | - |
| Plomo | mg/L | 0.025 | Hidróxidos | mg/L CaCo3 | - |
| Sodio | mg/L | 200 | Coliformes fecales | NMP/100ml | ND |
| Zinc | mg/L | 5 | Coliformes totales | NMP/100ml | 2 |

Tabla 2.1. Límites permisibles de algunos iones para la NOM-127-SSA. Secretaría de Salud

2.3.3 Características de los principales solutos.

Es importante que todos los parámetros especificados en la Norma estén dentro de los límites permisibles.

Se pueden realizar análisis más detallados de ciertos solutos para representarlos de una manera más amigable, estos gráficos serán vistos y explicados más adelante, a continuación, se describirán los elementos usados para realizar estos gráficos.

Calcio (Ca)

Es el metal alcalinotérreo más común ya que se encuentra en los tres tipos de roca, en aguas naturales casi siempre es el catión más abundante.

Contribuye principalmente a la dureza del agua.

Magnesio (Mg)

Aparece por la disolución de rocas carbonatadas, principalmente dolomita y magnesita. Tiene propiedades muy parecidas a las del calcio, pero aparece en menores cantidades.

También contribuye principalmente a la dureza del agua.

Bicarbonato (HCO_3)

Es el componente principal de casi todas las fuentes de agua, su origen proviene de la actividad bacteriana sobre el CO_2 y de fuentes antropogénicas como detergentes industriales.

Es el principal factor para medir la alcalinidad del agua, aguas con alto contenido de bicarbonatos son malas para el riego, ya que pueden generar en la tierra un medio alcalino.

Sulfatos (SO₄)

El ion sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, tiene su origen en la disolución de yeso o por actividad minera. Tiene un efecto purgante, especialmente en niños, por lo que es altamente regulado.

El sulfato tiende a reducirse bajo condiciones anaerobias, formando H₂S que genera grandes problemas en las alcantarillas, debido a su olor y toxicidad, además de ser altamente volátil.

Sodio (Na)

El sodio no existe libre en la naturaleza, aparece siempre como sales de sodio, y todas éstas son muy solubles en agua, por ello es muy común encontrar aguas con sodio. Se encuentra en grandes cantidades en aguas de mar y en aguas subterráneas en contacto con compuestos como halita o NaCl.

Potasio (K)

Se encuentra en forma iónica o molecular, altamente activo que reacciona con oxígeno y el agua. Sus características son muy similares al sodio, se determina de igual manera que éste y están íntimamente relacionados, por lo que normalmente se les analiza juntos. En general se presenta en concentraciones menores a las del sodio.

Cloruro (Cl⁻)

Este ion es altamente soluble en agua, tiene características conservativas por lo que se utiliza de trazador en algunos casos. Su origen proviene de minerales con cloruro, escurrimiento agrícola, pero sobre todo es un alto indicador de intrusión salina.

Aunque no representa gran amenaza a la salud, sí produce un sabor salado en el agua, por lo que es rechazada por los consumidores.

Nitrato (NO_3)

Entra en el agua por el ciclo del nitrógeno y no por minerales disueltos, también puede ser consecuencia del uso de fertilizantes. Es conservativo por lo que no es absorbido por la matriz de roca.

El nitrato representa una amenaza a la salud ya que, en exceso en el cuerpo humano, puede dificultar el transporte de oxígeno para los glóbulos rojos.

2.3.4 Interpretación de los análisis químicos

Diagramas de Piper

Un diagrama triangular se utiliza para representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia, la suma de los tres debe representar el 100% de la composición de ésta.

El diagrama de Piper está formado por dos diagramas de tipo triangular y un rombo que recoge la información de ambos. En un triángulo se representan los cationes principales y en el otro los aniones. Cada análisis queda representado por tres puntos, dos en los triángulos y uno en el rombo (Fig. 2.3.1).

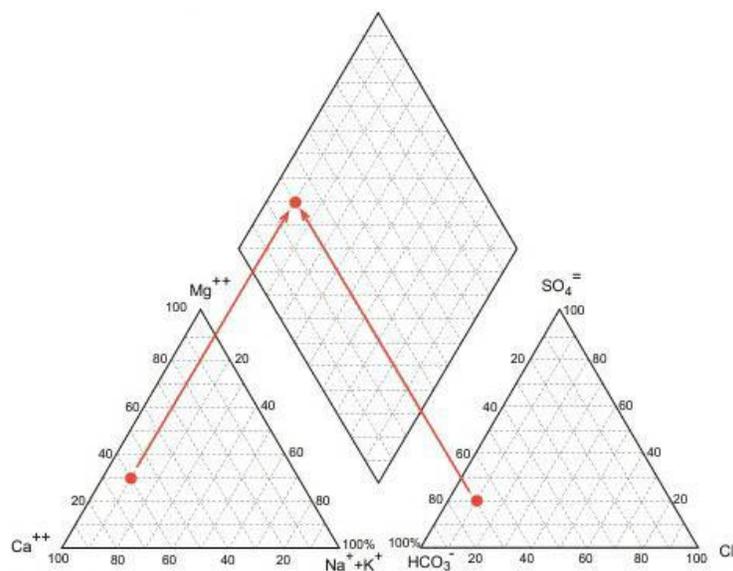


Fig. 2.3.1. Representación gráfica de la disposición de información en un diagrama de Piper. Elaborado en el software Aqua Chem.

Al colocar la información en este diagrama, podemos caracterizar nuestra muestra, de acuerdo al tipo de ion que este influyendo más en su composición, como se muestra en la siguiente figura:

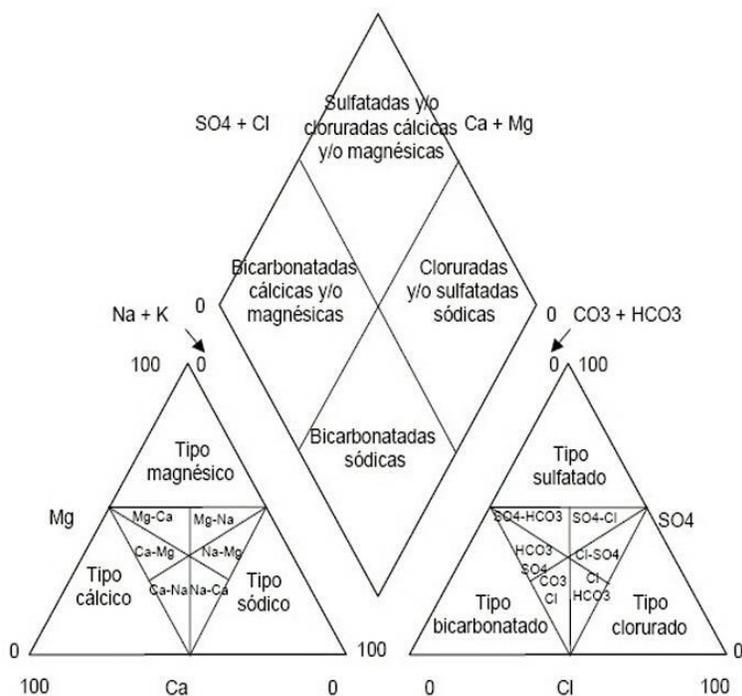


Fig. 2.3.2. Interpretación de resultados, usando un diagrama de Piper.

Las ventajas de estos diagramas, además de darle una clasificación al agua, es facilitar la comparación de múltiples muestras simultáneamente y también determinar mezclas de agua.

Diagramas de Stiff

Es una gráfica horizontal en la que se expresan la proporción de cationes del lado izquierdo y los aniones al derecho. Está compuesta por tres líneas horizontales, cada una con un anión de un lado y un catión del otro, se colocan las proporciones en forma de puntos sobre cada línea, un punto por cada ion.

Una vez colocados los puntos, éstos se unen para formar un polígono como el de la siguiente figura:

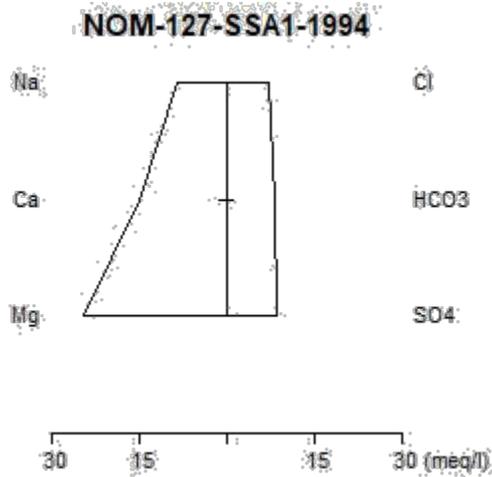


Fig. 2.3.2. Diagrama de Stiff para la NOM -127. Elaborado en el software Aqua Chem.

Estos diagramas son muy útiles para representar en mapas, ya que se pueden comparar directamente los polígonos y se visualiza rápidamente la variación mineral del agua en el acuífero.

Es importante resaltar que en estos diagramas y en general en la interpretación de análisis de laboratorio, se ocupa como unidad de medida las miliequivalencias por litro (meq/l), en lugar de las partes por millón (ppm), por lo que los datos deben ser manipulados antes de ser ingresados a las diferentes herramientas que nos ayudan a evaluar la calidad del agua.

Capítulo 3. Antecedentes

3.1. Ubicación y generalidades

La zona de estudio; la comunidad de “El Palmar”, se encuentra aproximadamente 14 km al oriente de Papantla de Olarte, que es su cabecera municipal (Fig. 3.1), en la parte central del estado de Veracruz.

En la zona se encuentran la Carretera 180 que comunica a Papantla con Gutiérrez Zamora y la Carretera 180D que comunica a la Ciudad de Poza Rica con Papantla. Además, se encuentran la Carretera 127, la Carretera Poza Rica- María de la Torre, Carretera Paso de Barriles-Ursulo Galván.

Existen también un buen número de terracerías y brechas que están en condiciones de regulares a buenas, mismas que pierden su calidad en la temporada de lluvias.

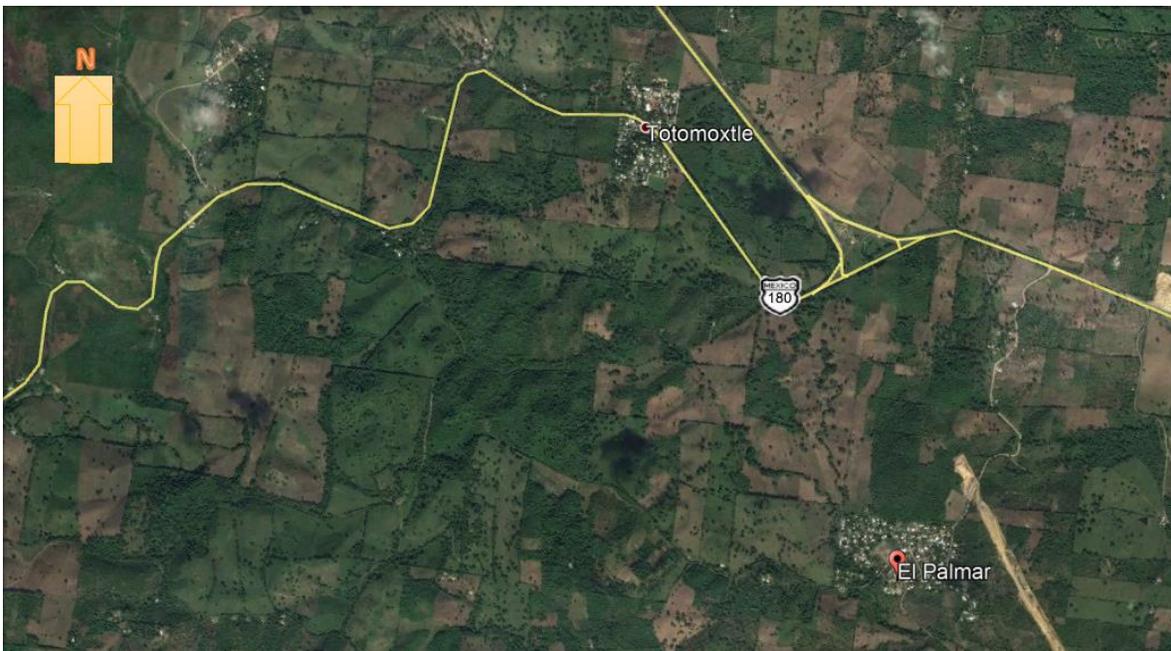


Fig. 3.1 Ubicación del Palmar (parte inferior derecha) por la parte central en amarillo se observa la carretera federal 180 (conecta con un camino de terracería el cual es el principal acceso a la comunidad), la cual en dirección poniente se dirige a Papantla y en dirección oriente a Gutiérrez Zamora. En la parte central superior se observa la comunidad de Totomoxtle.

El clima que predomina en la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Lluvia entre 1100 a 1600 mm en promedio y el rango de

temperaturas es de 24°C a 26°C, sin embargo, en primavera y en verano llegan a alcanzarse temperaturas de hasta 32°C.

De acuerdo al último censo en la comunidad realizado en 2010, hay un total de 118 viviendas habitadas y una población total de 587 habitantes y está considerada como predominantemente indígena de origen Totonaca.

Los últimos datos de la CONAPO (2010), muestran que el índice de marginación para El Palmar es de -0.118529, lo que la cataloga con un grado de marginación alto (Tabla 3.1). Estos índices se calculan con ayuda de varios parámetros, los cuales incluyen el número de habitantes, las condiciones de los hogares en donde viven y el origen de donde obtienen los recursos para subsistir y su nivel de educación. En el caso de nuestra área de estudio, encontramos que pertenece a una zona rural, pues el INEGI clasifica de esta manera a las comunidades con menos de 2500 habitantes. Las viviendas suelen ser de poca capacidad con un promedio de 2 habitaciones, en las que habitan en promedio 6 habitantes, siendo únicamente el jefe de familia quien tiene algún ingreso para el sustento familiar siendo la agricultura como la principal actividad económica de la región.

| Grado de marginación | Índice de marginación |
|----------------------|-----------------------|
| Muy Bajo | -1.52944 a -1.15143 |
| Bajo | -1.15143 a -0.39539 |
| Medio | -0.39539 a -0.01738 |
| Alto | -0.01738 a 0.73866 |
| Muy Alto | 0.73866 a 2.25073 |

Tabla 3.1. Índices de marginación por localidad, CONAPO

3.2. Estudios previos

Se hizo un análisis de información preexistente del área de estudio, todo lo que incluyera estudios hidrológicos e hidrogeológicos, contemplando geología

superficial, del subsuelo, estratigrafía, tectónica, climatología, censos de captación, piezometría y balances de aguas subterráneas.

La información fue obtenida del Servicio Geológico Mexicano, la Comisión Nacional de Agua y Tesis existentes en la UNAM. (Tabla 3.2)

| Estudio | Empresa/Institución | Año | Área de estudio |
|--|--|------|------------------------------|
| Atlas Geohidrológico del Estado de Veracruz: Compendio de la exploración del subsuelo Vol. 2 | Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos | 1984 | Estado de Veracruz |
| Atlas Geohidrológico del Estado de Veracruz: Banco Nacional de información Geohidrológica Vol. 1 | Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos | 1982 | Estado de Veracruz |
| Estudio Geohidrológico de fuentes de abastecimiento de agua potable en diversas localidades del Estado de Veracruz | Ingenieros civiles y Geólogos asociados, S.A. | 1981 | Papantla de Olarte, Veracruz |
| Estudio de prospección Geohidrológica en la zona de Tecolutla, Veracruz | EXYCO, S.A. | 1981 | Tecolutla, Veracruz |
| Estudio de las condiciones Geohidrológicas en la zona de Papantla, Veracruz | Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos | 1981 | Papantla, Veracruz |
| Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tecolutla en el Estado de Veracruz | Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) | 2015 | Estado de Veracruz |

Tabla 3.2 Estudios previos que involucran a “El palmar”

3.3. Geología y fisiografía

El área de estudio se encuentra sobre la cuenca Tampico-Misantla. De acuerdo con el estudio geológico de campo, en el entorno de la comunidad “El Palmar”, se tiene un conjunto de lomeríos cubiertos de vegetación, cuyas litologías corresponden a depósitos granulares Cenozoicos de la Formación Tuxpan en su miembro inferior,

la que se encuentra cubierta en las zonas bajas (en ríos y arroyos) por depósitos fluvio-deltaicos del cuaternario (Fig. 3.2).

La Formación Tuxpan fue descrita por Dumble en 1911, tiene una amplia distribución, ya que aflora a lo largo de la costa del Golfo de México en una franja de hasta 20 Km de ancho, desde el sur de la Barra de Tamiahua hasta 20 Km al sur del Río Tecolutla, río que se encuentra dentro área de estudio, donde hallamos que sobreyace en forma concordante a la Formación Escolín y en forma discordante a la Formación Coatzintla o Mesón en su parte norte (Fig. 3.3.); su parte superior esta erosionada o se presenta cubierta por gravas y gravillas y arenas del Plioceno-Pleistoceno, lo que se aprecia únicamente en los causes de los arroyos y en las terrazas fluviales del Río Tecolutla.



Fig. 3.2. Panorámica desde el trazo carretero, donde se observa parte de la comunidad y los lomeríos característicos de la zona

En “El Palmar”, la Formación Tuxpan está compuesta de areniscas de grano medio a fino, lentes de conglomerados de calizas empacadas por arcilla, areniscas calcáreas y lutitas (Fig 3.4). Esta formación se presenta emplazada casi horizontalmente con una vergencia de 6° hacia la línea de costa cuya única deformación corresponde con la carga litostática. Presenta también depósitos conglomeráticos como relleno de canales cuyos componentes varían de algunos

centímetros a fragmentos mayores a 40 cm; la matriz es arenosa-limosa fuertemente empacados y cementados con carbonato de calcio.

| CORRELACION ESTRATIGRAFICA DEL ESTADO DE VERACRUZ | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|------------------|---------------------|--|----------------------------|--------------------------------------|
| EDAD | EPOCA | TAMAULIPAS | TAMPICO-MISANTLA | TEZIUTLAN | PAPALOAPAN | ITSMO | |
| | | FORMACION | GRUPO | FORMACION | | | |
| TERCIARIO | CUATERNARIO | BEAUMONT LISSIE GOLIAD | | ALUVION | | | |
| | PLIOCENO | LA GARTO | | | | PARAJE SOLO FILISOLA | |
| | | OAKVILLE | | TUXPAN | CONCEPCION (INDIFERENCIADO) | CONCEPCION | CONCEPCION |
| | | CATANDULA | | | ENCANTO | ENCANTO | ENCANTO |
| | OLIGOCENO | ANAHUAC | | SUPERIOR | ESCOLTIN COATZINTLA | PALMA REAL SUP (MESON) | DEPOSITO |
| | | FRIO | | MEDIO | MESON | ENCANTO | ENCANTO |
| | | VICKSBURG | | INFERIOR | PALMA REAL SUP PALMA REAL INF HORCONES | PALMA REAL INF HORCONES | DEPOSITO C. NANCHITAL |
| | | JACKSON | | SUPERIOR | CHAPAPOTE-TANTOYUA | CHAPAPOTE | LA LAJA |
| | EOCENO | COOK MOUNTAIN | | MEDIO | GUAYABAL | GUAYABAL | LUTITAS NANCHITAL |
| | | WYNN SELMAN | | INFERIOR | CHICONTEPEC SUP CHICONTEPEC MED | ARAGON | CHICONTEPEC- VELASCO |
| | | CARRIZO | | | VELASCO | CHICONTEPEC- VELASCO | C. VEFANAPA |
| | PALEOCENO | WILLIS POINT | | | VELASCO | | CHICONTEPEC-VELASCO |
| | | KINKAID | | | HIATO | | |
| | MESOZOICO | CRETACICO SUPERIOR | MAESTRIANIANO | | MENDEZ | MENDEZ | MENDEZ |
| | | | CAMPANIANO | | SAN FELIPE | SAN FELIPE | MENDEZ |
| SANTONIANO | | | | AGUA NUEVA | AGUA NUEVA | MENDEZ | |
| CONIACIANO | | | | AGUA NUEVA | AGUA NUEVA | MENDEZ | |
| CRETACICO MEDIO | | CENOMANIANO | | HIATO | HIATO | | |
| | | ALBIANO | CUESTA DEL CURA | (HORIZONTES OTATES) | TAMAULIPAS EL ABRA RACIES TAMAULIPAS TAMOBRA | ABRA TAMAULIPAS SUP | ESCAMELA CALIZA SIERRA MADE |
| CRETACICO INF. | | APTIANO | LA PEÑA, CUPIDO | | TAMAULIPAS INF | TAMAULIPAS INF | CALIZA CHINAMECA |
| | | NEOCOMIANO | TARAISES | | PINTIENYA | | |
| JURASICO | | PORTLANDIANO | LA CASITA | | TAMAN | | |
| | | KIMMERADGIANO | OLVIDO | | HUIYACHOL | | |
| TRIASICO | OSFORIANO | ZULCAGA | | HUAYACOCOTLA | | FORMACION SALINA | |
| | LIASICO | | | | | | |
| PALEOZOICO | PERMICO | HUIZACHAL | | | | | |
| | CARBONIFERO | | | PEREGRINA | | | |
| | DEVONICO SILURICO ORDOVISICO CAMBRICO | | | | | | |
| PRECAMBRICO | | | | | | | |

Fig. 3.3. Correlación estratigráfica del estado de Veracruz. Resaltado la cuenca Tampico- Misantla. Atlas Geohidrológico del Estado de Veracruz Vol. 2 1984.



Fig. 3.4. Secuencia de conglomerados polimícticos que corresponden a un relleno de paleocanal de considerables dimensiones (más de 300 m), con clastos redondeados de hasta 30 cm de diámetro, constituidos de fragmentos de 27 calizas, areniscas, pedernal y de andesitas; con matriz areno-limosa.

La Formación Tuxpan es de edad Mioceno Inferior-Mioceno Superior cuyo ambiente de depósito corresponde a un ambiente mixto (transicional), ubicado entre una plataforma clástica somera y la antigua línea de costa, por lo que se tienen cambios de facies de ambientes fluviales, de playa y de una plataforma marina. Lateralmente presenta cambios como acuñamientos, y adelgazamientos del espesor sobre todo en los conglomerados y areniscas; lo que explica la gran cantidad de cambios litológicos horizontales y verticales producidos por una transgresión, seguida de una regresión que fue conformando la actual línea de costa, la zona continental y el desarrollo de la red fluvial, con numerosos afluentes que alimentan al Río Tecolutla.

Una particularidad de la Formación Tuxpan es la presencia de estratos compuestos de bioclásticos (fragmentos de gasterópodos y pelecípodos) de 10 a 30 cm de espesor empacados y cementados fuertemente en sedimentos arcillo-arenosos y carbonatados, cuyos organismos son ampliamente visibles, incluso parecidos a las conchas recientes, lo cual representa antiguas líneas de costa ubicadas hoy en el continente (Fig 3.7). En algunos afloramientos la secuencia arenosa se presenta cortada por depósitos conglomeráticos lenticulares de mayor tamaño.



Fig 3.7. Afloramiento sobre la carretera a Poza Rica donde se observan bandas de fragmentos de gasterópodos y pelecípodos.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Verificación geológica

Con la información recabada se planearon visitas a campo. Los datos recopilados se usaron para confeccionar un mapa geológico base, en el cual se marcaron puntos de interés con el fin de verificar la información y se diseñaron los caminamientos por la zona.

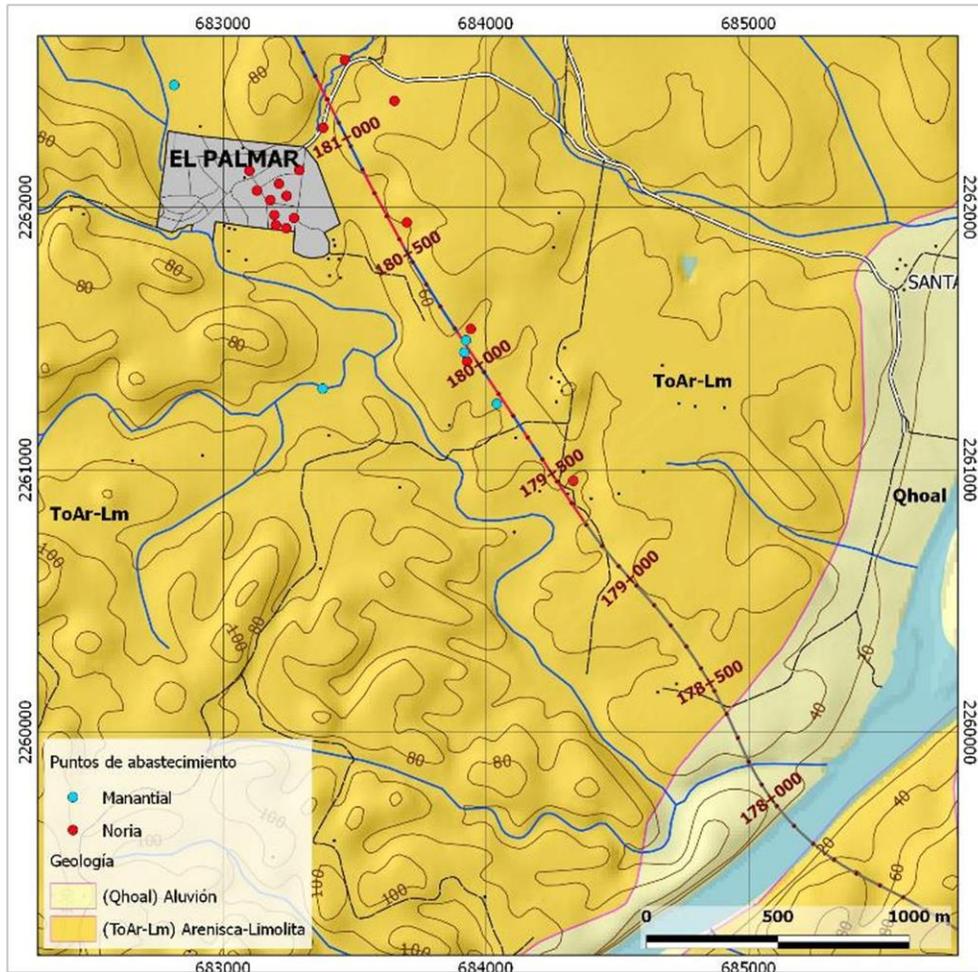


Fig. 4.1. Mapa Geológico del área de estudio, donde se ubica a la Comunidad de El Palmar en el sector noroeste y al Río Tecolutla en el sector sureste. Elaborado por The Hidrogeology Group.

El equipo que se utilizó fue el básico para reconocimiento geológico: GPS, brújulas, martillo de geólogo, cartas y planos del lugar.

El estudio de las unidades geológicas fue posible en los ríos y en los cortes de carretera, donde se pudieron apreciar la gran variedad en tamaños de grano, así como diferentes niveles de compactación, donde el principal cementante es el carbonato de calcio.

Al constatar que nos encontramos en la formación Tuxpan (Fig. 4.2), podemos esperar unidades con potencial hidrogeológico en el subsuelo que estaremos buscando con ayuda de la geofísica.



Fig. 4.2. Corte carretero en el que se muestra una sucesión de areniscas, lutitas y conglomerados, característicos de la formación Tuxpan.

4.2 Censo de pozos y muestreo de agua

De los reconocimientos hidrogeológicos y de acuerdo al censo de CONAGUA no existen pozos profundos en la zona. Se observó que el abastecimiento de agua de la comunidad se hace por medio de pozos de poca profundidad de los que extraen agua de forma manual ubicados en prácticamente todas las casas (Fig. 4.3 y 4.4) y un par de manantiales de bajo caudal.



Fig.4.3. Noria en una casa. Cabe resaltar que era de las pocas en la comunidad que contaba con brocal construido con materiales resistentes.



Fig 4.4. Noria en casa. Se nota que la protección que se les da, suele ser rudimentaria y con materiales de baja calidad.

En total se censaron 15 norias, de las cuales sólo dos cuentan con infraestructura para el bombeo (norias de la escuela primaria y secundaria de El Palmar).

La profundidad a la que se realizan estas norias oscila entre los 2 y 10 metros, la profundidad promedio es de 7 metros, y la noria más profunda es la que se encuentra en el centro del poblado, que es de uso comunal (Fig. 4.5).



Fig 4.5. Noria comunal, ubicada en el centro del poblado.

Todas las norias de la comunidad son de propiedad privada, a excepción de la localizada en el centro del poblado que abastece a las familias que no cuentan con la obra en sus casas debido al costo que representa su excavación.

Los volúmenes de extracción de las norias dependen de cubetas que son llenadas durante el día cuya disponibilidad es estacional, es decir, durante la época de lluvias las norias presentan tirantes de agua de varios metros entre el nivel estático y la profundidad total de la obra, pero en época de estiaje, por sí solo, el nivel desciende incluso hasta ver seca la captación.

Se notó también que las excavaciones de las norias se detenían al entrar en contacto con el conglomerado perteneciente a la Formación Tuxpan, o roca dura, como la reconocen en el poblado, ya que su perforación representa un costo mucho mayor para los habitantes de la zona, no obstante, las familias con mayores recursos penetran este conglomerado un par de metros, asegurando así un suministro de agua durante la época de estiaje.

El uso del agua de las norias no es únicamente para servicios, dada la falta del vital líquido, también es utilizada para consumo humano, sin tener la calidad de agua potable.

Se localizaron también manantiales aflorando en las laderas de los arroyos, generalmente donde se presenta aflorando el conglomerado, éstos son utilizados de igual manera para consumo y servicios.



Fig. 4.6. Obteniendo muestra de uno de los manantiales, para realizar pruebas de calidad de agua.

Los resultados obtenidos del censo se presentan en la siguiente tabla:

| N° | Propietario | Dirección | UTM-x | UTM-y | z (msnm) | Brocal (m) | PNE (m) | PRNE (m) |
|----|-------------------------|-------------------------------|--------|---------|-------------|---------------|---------|-------------|
| 1 | Pozo comunitario | Frente Diconsa y Auditorio | 683099 | 2262139 | 59 | 0.7 | 10.55 | 9.85 |
| 2 | SD | Esc. Prim. Rural Justo Sierra | 683128 | 2262063 | 37 | 0.81 | 5.76 | 4.95 |
| 3 | Loreto Xochihua | SD | 683380 | 2262302 | 54 | 0.76 | 3.06 | 2.3 |
| 4 | Loreto Xochihua | SD | 683651 | 2262405 | 50 | 0.86 | 2.99 | 2.13 |
| 5 | Comunitario | "Noria 4" | 683462 | 2262561 | 45 | 0.825 | 1.2 | 0.375 |
| 6 | Valentina Olmedo | SD | 683200 | 2261932 | 38 | 0.6 | 3.87 | 3.27 |
| 7 | Nestora Olarte | SD | 683194 | 2261970 | 34 | 0.74 | 5.48 | 4.74 |
| 9 | SD | Capilla | 683239 | 2261920 | 29 | 0.76 | 3.67 | 2.91 |
| 10 | SD | Junto a Capilla | 683269 | 2261959 | 34 | 0.71 | 5.01 | 4.3 |
| 11 | Lucio Tiburcio Valencia | SD | 683212 | 2262089 | 41 | 0.67 | 8.41 | 7.74 |
| 12 | Pedro Reyes | SD | 683289 | 2262141 | 37 | 0.7 | 7.78 | 7.08 |
| 13 | Dionisio Reyes | SD | 683241 | 2262043 | 48 | 0.79 | 10.14 | 9.35 |
| 14 | SD | "Manantial" | 683378 | 2261309 | 21 | NA | NA | 0 |
| 15 | SD | "M2" noria junto a manantial | 682813 | 2262465 | 33 | SD | NA | 0 |

Tabla 4.1. Distribución espacial de las captaciones censadas.

4.3 Piezometría

Gracias a los estudios previos se tiene una idea del acuífero más cercano registrado.

De acuerdo a la litología y la posición del nivel del agua se infiere que trabajamos en un *acuífero local de tipo semiconfinado a confinado* ubicado en la Formación Tuxpan. Dentro de ésta, la parte permeable corresponde con los depósitos arenosos del miembro inferior siempre que tengan continuidad hidráulica y espesores que garanticen almacenamiento de agua. Por lo anterior y dado que se registran altos volúmenes de lluvia en el área, prácticamente todos escurren o se evapotranspiran en superficie debido a la baja capacidad de infiltración y almacenamiento de los materiales de dicha Formación, por lo que los volúmenes que sí llegan a almacenarse son muy limitados para la extracción de caudales en forma continua.

Debido a lo anterior, se considera a priori y con el sustento litológico, un acuífero limitado en cuanto a su almacenamiento. Desafortunadamente, el adelgazamiento y acuífero

lateral de la unidad permeable es generalizado, tanto, que algunas norias son recargadas más eficientemente que otras.

Es importante mencionar que los estudios hidrogeológicos anteriormente realizados en las inmediaciones de la Congregación El Palmar, no consideran esta área como zona acuífera, más bien se considera como zona impermeable, incluso el estudio de disponibilidad de la CONAGUA referido en este estudio no evalúa a la localidad El Palmar y sus alrededores.

Un factor muy importante en la zona estudiada, es la ocurrencia del agua subterránea en una topografía formada por lomeríos de entre 30 y 80 metros de altura, disectados por una serie de arroyos estrechos que en algunos casos presentan manantialismo.

En promedio, la profundidad al nivel estático es de 5 metros, pero como ya se mencionó anteriormente, esto depende de la época en la que se midió.

4.4 Pruebas de bombeo

Con la finalidad de evaluar la capacidad de las unidades litológicas en cuanto a la transmisión de flujos de agua, y evaluar la posibilidad de bombear en forma continua, se realizaron un par de pruebas de bombeo en la localidad. Las norias elegidas fueron la noria Escuela primaria y la noria 4.

Las pruebas se realizaron con una bomba sumergible de $\frac{3}{4}$ de caballo, un motor a gasolina y demás aditamentos para su ejecución (Figura 4.7).



Figura 4.7. Bomba sumergible. Equipo conectando los aditamentos necesarios para hacer las pruebas.

Es importante mencionar que el bombeo en las norias fue llevado al nivel crítico, es decir se secaron, cuya recuperación fue de 12 horas para la noria 4 y hasta 3 días para la noria de la escuela primaria.

La prueba consistió básicamente en drenar lo que sería un tanque (drenado del almacenamiento del pozo), sin que participaran volúmenes procedentes del acuífero. Posteriormente se observó el tiempo de recuperación de estas norias para conocer mejor la situación del acuífero.



Fig. 4.8. Drenado de la noria en la escuela primaria.



Fig. 4.9. Montaje del equipo en la noria 4, para realizar la prueba de bombeo.

4.5 Exploración Geofísica

Para caracterizar la distribución de la resistividad y poder correlacionarla con los materiales geológicos presentes, se adquirieron 14 sondeos con la técnica de transitorio electromagnético en el dominio del tiempo (TEM). Se utilizó el arreglo de bobina simple, con dimensiones de 50 x 50 m para poder alcanzar una profundidad de investigación de hasta 100m.

Para la georreferenciación de los tendidos se utilizó un GPS marca GARMIN, el cual proporciona para cada sitio de exploración geofísica, las coordenadas UTM en el sistema

WGS84, mientras que la elevación fue tomada del modelo digital de elevación (MDE) adquirido del portal del INEGI.



Figura 4.10. Tendido del cable para la bobina cuadrada.



Fig. 4.11. Batería, cable y equipo Terra TEM, para realizar los sondeos.

La localización de los sondeos fue planeada antes de las salidas al campo con el objetivo de poder muestrear toda la zona de interés. Inicialmente se hicieron 8 sondeos con los que se logró una vista preliminar de la zona, gracias a esos resultados se observó un área de interés que no podía ser completamente caracterizada con los sondeos hechos, por lo que se planeó una segunda gira para realizar 6 sondeos más.

En la tabla 4.2 se muestran las coordenadas UTM de los centros de cada uno de los TEM así como su elevación.

Se hizo un análisis de ruido en el PAL08 por ser el más susceptible a ser afectado ya que se encontraba en el centro de la comunidad. El resultado fue muy aceptable por lo que no se hicieron análisis de ruido en los demás puntos.

Se realizaron secciones geoelectricas a partir de la interpolación de los modelos unidimensionales generados para cada sitio sondeado, dichas secciones serán mostradas en el capítulo de resultados.

| Sitio | UTM-x | UTM-y | Elevación |
|-------|------------|------------|-----------|
| PAL01 | 683680.453 | 2262378.4 | 68 |
| PAL02 | 683399.465 | 2262421.4 | 58 |
| PAL03 | 682883.486 | 2262344.4 | 43 |
| PAL04 | 683173.474 | 2262521.4 | 80 |
| PAL05 | 683559.459 | 2261029.42 | 39 |
| PAL06 | 683293.47 | 2261259.42 | 28 |
| PAL07 | 683041.48 | 2261687.41 | 39 |
| PAL08 | 682996.482 | 2262092.41 | 39 |
| PAL09 | 682887.77 | 2262716.56 | 53 |
| PAL10 | 683120.16 | 2262824.45 | 58 |
| PAL11 | 683355.08 | 2262763.31 | 69 |
| PAL12 | 683602.48 | 2262726 | 76 |
| PAL13 | 683568.6 | 2263033.21 | 74 |
| PAL14 | 683589.32 | 2262240.69 | 80 |

Tabla 4.2. Ubicación de cada uno de los sondeos.

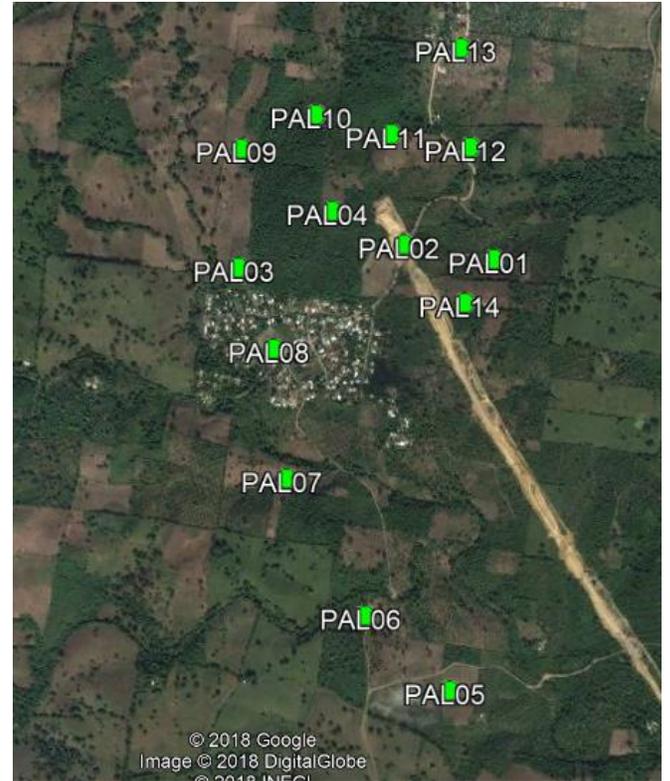


Fig. 4.12. Distribución espacial de los sondeos.

4.6 Calidad del agua subterránea

Es necesario determinar los contaminantes que pudiera contener el agua para poder diseñar un sistema de tratamiento eficiente. Con este fin se realizaron muestreos para analizar la calidad del agua y comprobar que cumplan con la norma NOM-127-SSA-1994.

Se hicieron dos tipos de actividades de la calidad del agua para este proyecto. La primera se realizó durante el censo de captaciones con el laboratorio portátil HANNAH, que mide diez parámetros al instante, aunque ofrece una menor precisión que un análisis de laboratorio. Al momento de tomar las medidas de cada noria durante el censo, se sacaba una muestra de agua y se analizaba por medio del HANNAH, el cual tiene una memoria interna de la cual se descargaron los datos para su procesamiento posteriormente.

La segunda actividad consistió en recolectar muestras de agua subterránea para su análisis en laboratorio, se tomarían 5 muestras de las norias más significativas de la comunidad y serían llevadas al Laboratorio ABC en la Ciudad de México, estos muestreos se realizaron en dos campañas con un mes de diferencia entre ellas.

La planeación de esta actividad fue quizás la más complicada, ya que por los cambios químicos y físicos que ocurren cuando se retiran del acuífero, las muestras deben estar en el laboratorio un par de horas después de su recolección, y nos encontrábamos a ese tiempo de la ciudad, por lo que las muestras debían recolectarse simultáneamente y llevadas de inmediato a la ciudad.

Teóricamente el pozo debe ser vaciado por completo antes de tomar una muestra representativa, pero para evitar problemas con los pobladores al desperdiciar el agua que tanto les hace falta, se optó por purgar un poco el pozo tres minutos antes de tomar la muestra a la salida de la bomba y directamente en los recipientes intentando generar la menor turbulencia posible.

Se dividió al equipo entre los pozos de los que se tomarían las muestras y el vehículo que las llevaría a la ciudad. Se coordinaron los equipos para hacer la extracción de la muestra, agregarle unas gotas de ácido nítrico (para la conservación de las muestras), sellarlas, etiquetarlas e inmediatamente el vehículo pasaría por ellas, equipado con una hielera para refrigerarlas y así garantizar la preservación de la misma. Después de recoger todas las muestras el vehículo partió hacia la Ciudad de México para entregarlas al laboratorio.



4.12. Toma de parámetros con el laboratorio portátil Hanna



4.13. Vista en pantalla de algunos parámetros medidos con el dispositivo Hanna.

Capítulo 5. Resultados

5.1 Hidrogeología

Piezometría

A partir de la información recabada en el censo de captaciones, se lograron realizar dos configuraciones para el nivel estático, utilizando el interpolador *Surfer 13*, con el método *Kriging*.

Elevación del nivel estático

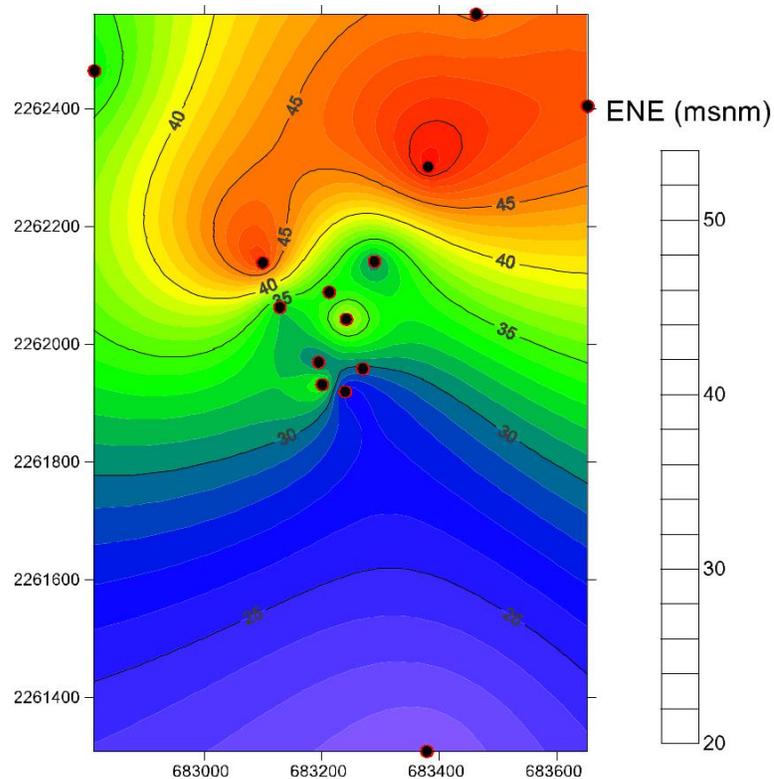


Fig. 5.1.1. Mapa de la elevación del nivel estático en El Palmar. Los puntos negros indican los sitios que fueron censados.

Después de realizar los ajustes entre las mediciones al nivel del agua y los brocales de las norias, se obtuvo el mapa de elevación del nivel estático, en el que se observan cargas máximas de 50 msnm en la parte noreste y mínimas de 25 msnm orientadas hacia la parte suroeste.

Profundidad del nivel estático

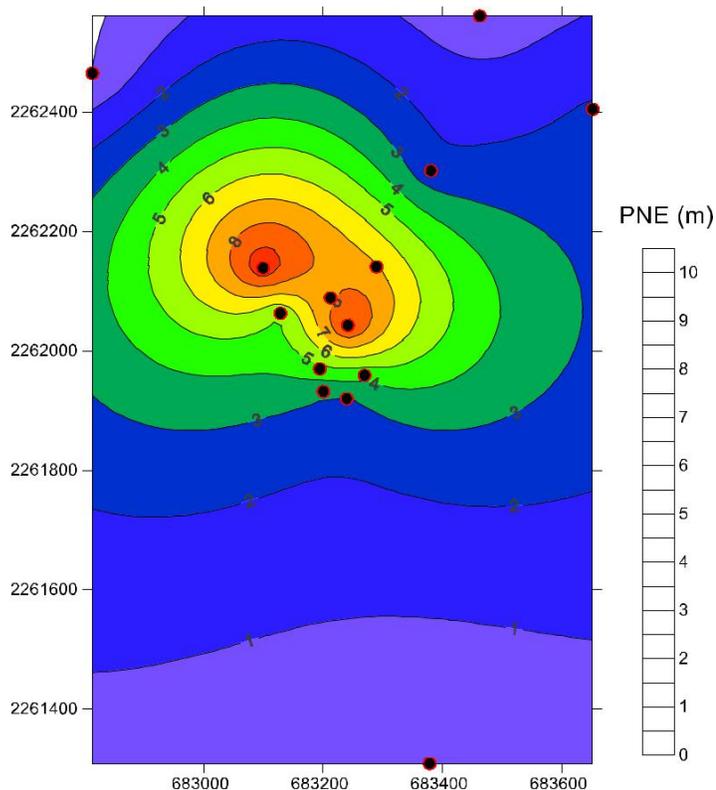


Fig. 5.1.2. Mapa de la profundidad del nivel estático. Los puntos negros indican los sitios que fueron censados.

Al obtener la configuración de la profundidad para el nivel estático, observamos que la parte central de la comunidad, es donde se alcanzan niveles más profundos, alcanzando hasta 10 m, mientras que, en los alrededores donde se encuentra menor concentración de habitantes, los niveles oscilan entre 1 y 2 m.

Pruebas de bombeo

Debido a problemas técnicos, primero con el generador y posteriormente con la bomba, los datos obtenidos en campo no nos permitieron realizar una adecuada interpretación para obtener los parámetros del acuífero.

Aún con estos impedimentos, se pudo apreciar la capacidad tan limitada del acuífero ya que las norias fueron secadas por completo y el tiempo de recuperación fue muy lento, hasta tres días en la noria de la escuela.

No se consideró correcto repetir las pruebas ya que dejarían sin agua a las personas que se abastecen de estos pozos por un periodo más prolongado.

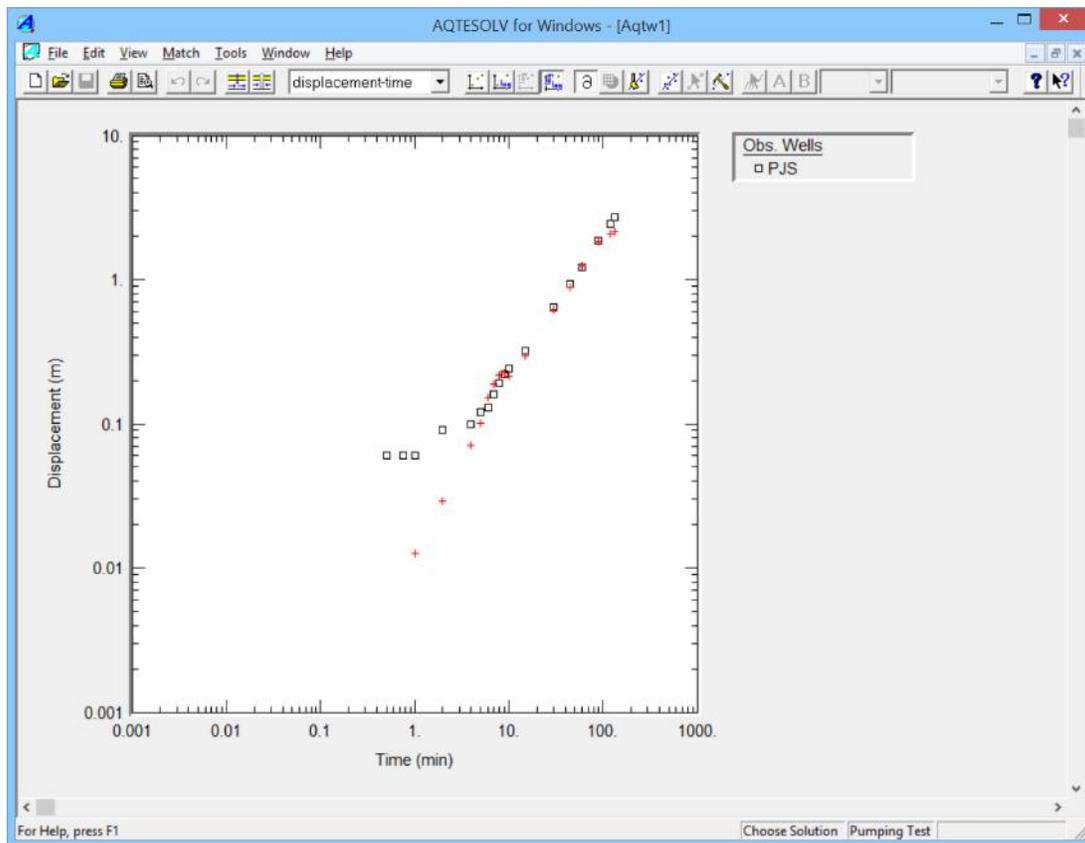


Fig. 5.1.3. Gráfica log-log de la prueba de bombeo en la que no se reconoce alguna curva teórica que relacione al tipo de acuífero

5.2 Geofísica

A partir de los datos tomados en campo se obtuvieron modelos unidimensionales para cada sitio medido, mediante la interpolación de estos modelos se trazaron 4 secciones geoelectricas que abarcan la zona de interés.

Para procesar los datos obtenidos, se utilizó el software WinGLink.

A continuación, se muestran las imágenes finales obtenidas para cada sección y una descripción de las mismas

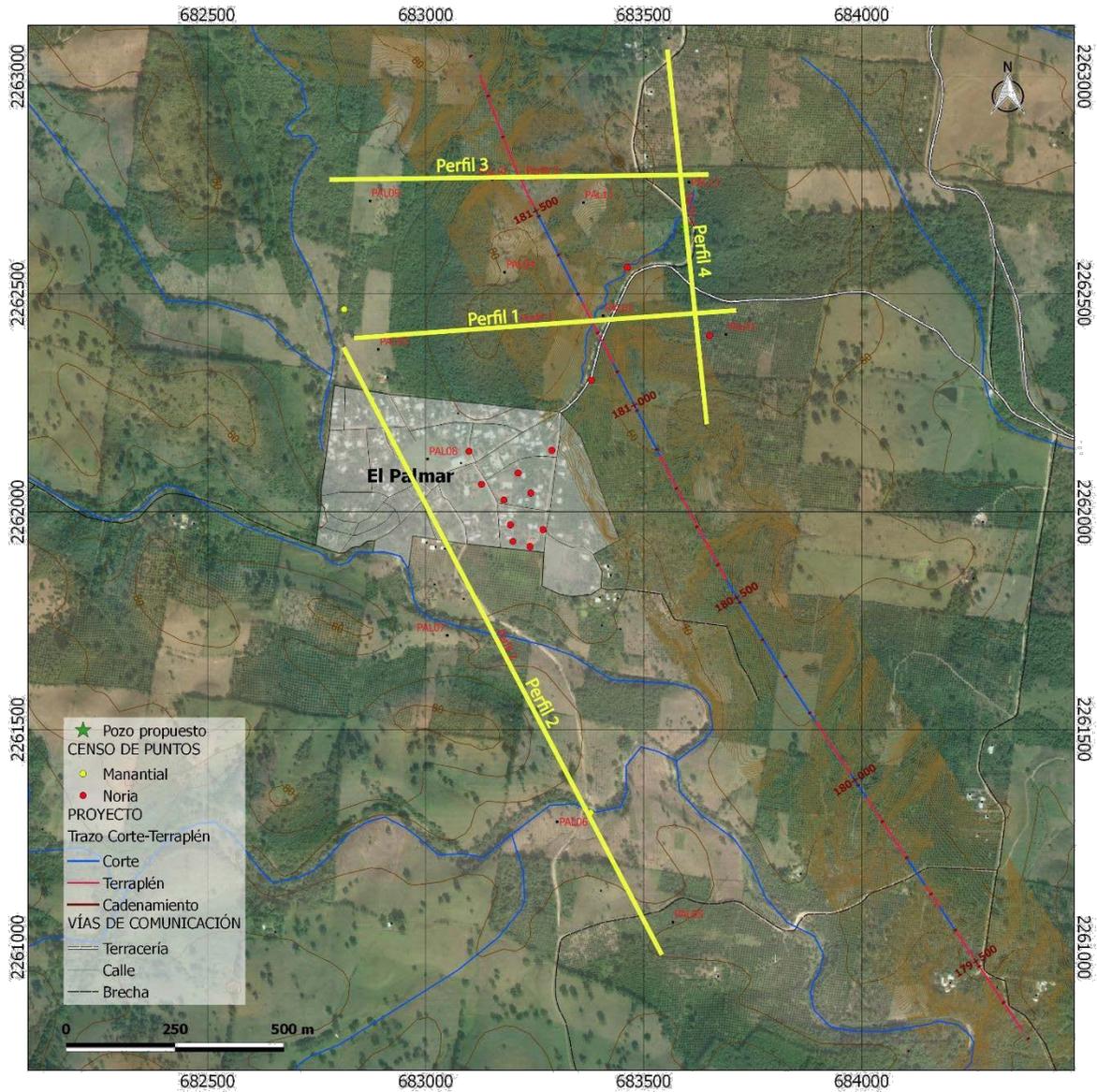


Fig. 5.2.1. Localización de los perfiles propuestos, sobre una fotografía aérea de la localidad.

| Sección geoelectrica | TEM | Orientación |
|----------------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | PAL03, PAL04, PAL02 Y PAL01 | W-E |
| 2 | PAL03, PAL08, PAL07, PAL06 Y PAL05 | N-S |
| 3 | PAL09, PAL10, PAL11 Y PAL12 | W-E |
| 4 | PAL13, PAL12, PAL01 Y PAL14 | N-S |

Tabla 5.2.1. Construcción de cada uno de los perfiles, a partir de los sondeos realizados

En las secciones es posible distinguir tres horizontes característicos con distintos valores de resistividad, apoyándonos en los estudios previos de la zona y el reconocimiento geológico en campo se asoció cada intervalo con una litología conocida.

| Unidad geoelectrica | Intervalo Resistivo (Ohm-m) | Litología asociada |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------|
| U1 | 50 a 200 | Conglomerado |
| U2 | 20 a 30 | Formación areno arcillosa |
| U3 | <5 | Arcillas |

Tabla 5.2.2. Asociación de los valores de resistividad a las unidades litológicas presentes en el área

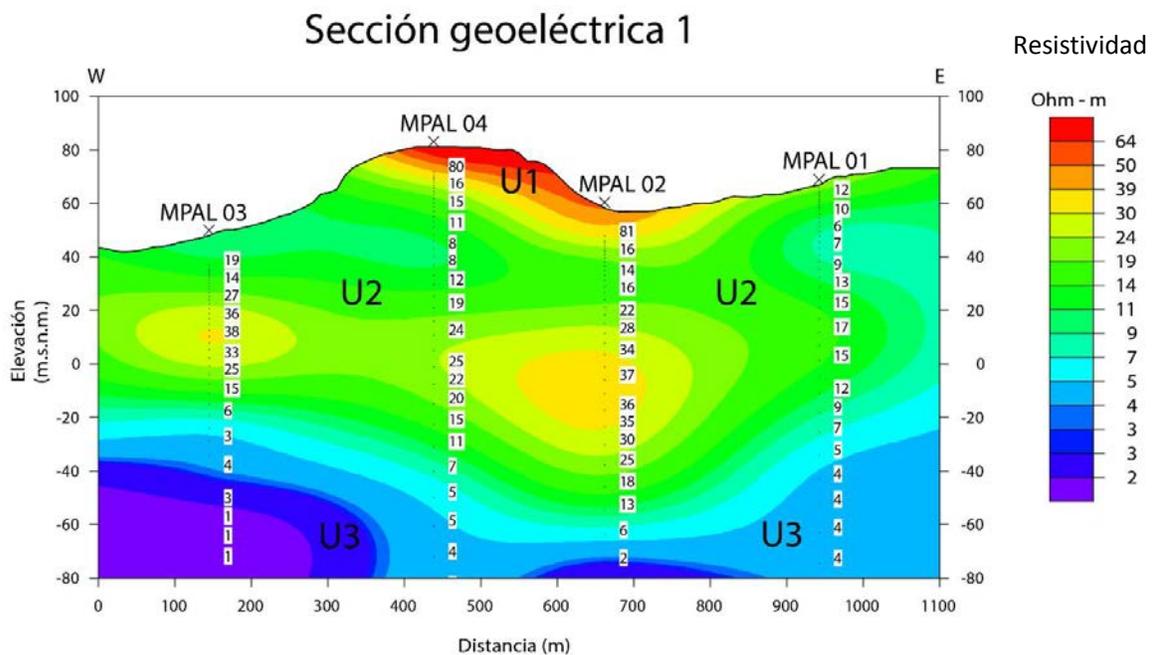
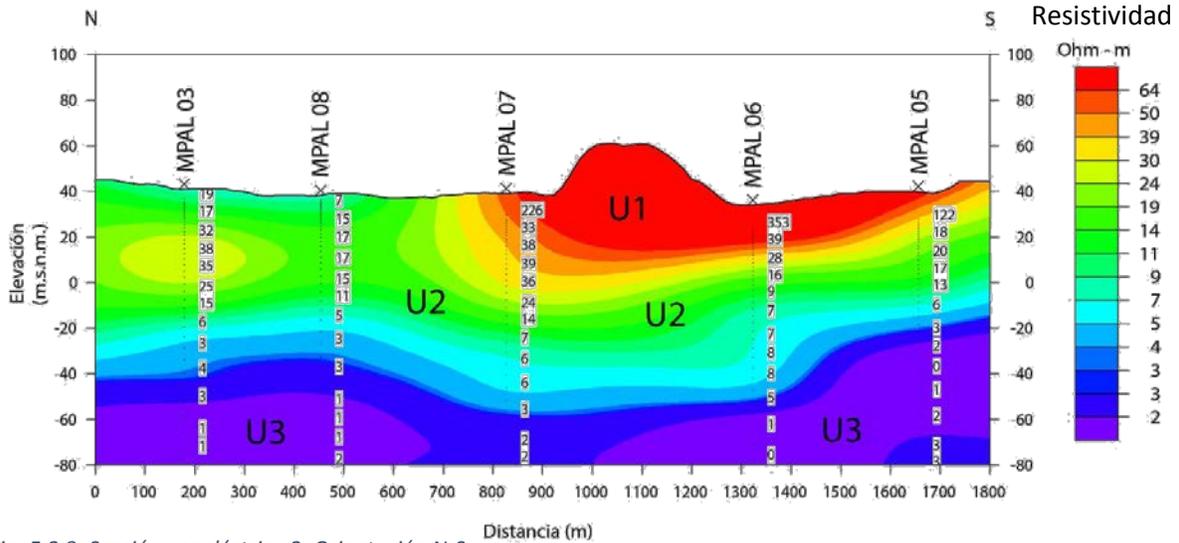


Fig. 5.2.2. Sección geoelectrica 1. Orientación W-E.

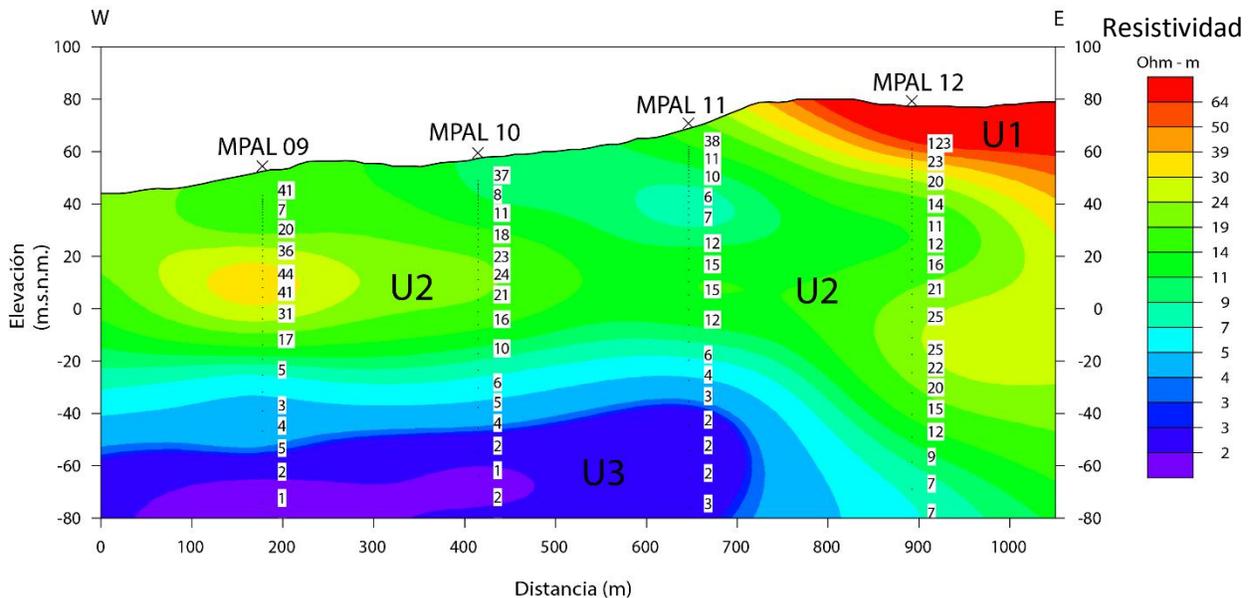
Se observa la unidad geoelectrica denominada U1 en la parte central superior del perfil, con resistividades superiores a los 50 Ohm – m y con un espesor variable hasta los 20 m. En los extremos de la sección la unidad que alcanza la superficie es la denominada U2, con resistividades entre 20 y 30 Ohm – m con espesores variables entre 60 y 80m. Finalmente subyaciendo a ambas unidades se observa en toda la longitud del perfil la unidad U3 con espesores variables y valores de resistividad menores a los 5 Ohm – m.

Sección geoelectrónica 2



Observamos la unidad U1 en superficie a partir de la marca de los 800 m y extendiéndose hacia el sur, con espesores de hasta 50 m. Al igual que en la sección 1 inmediatamente debajo de esta capa encontramos otra ligeramente más conductiva, la unidad U2, que aflora en los extremos y se presenta a lo largo de todo el perfil alcanzando espesores de hasta 60 m. En la parte inferior encontramos de nuevo a la unidad U3 a lo largo de todo el perfil.

Sección geoelectrónica 3



En esta sección se observó la unidad U1 sólo en la parte este del perfil, con un espesor de hasta 20m. Subyaciéndola encontramos de nuevo a la unidad U2, que aflora en el resto del perfil y alcanza su espesor máximo justo debajo de la U1. Finalmente observamos a la unidad U3 en casi toda la sección, pero pierde continuidad en la parte oriental donde se encuentra la unidad U2.

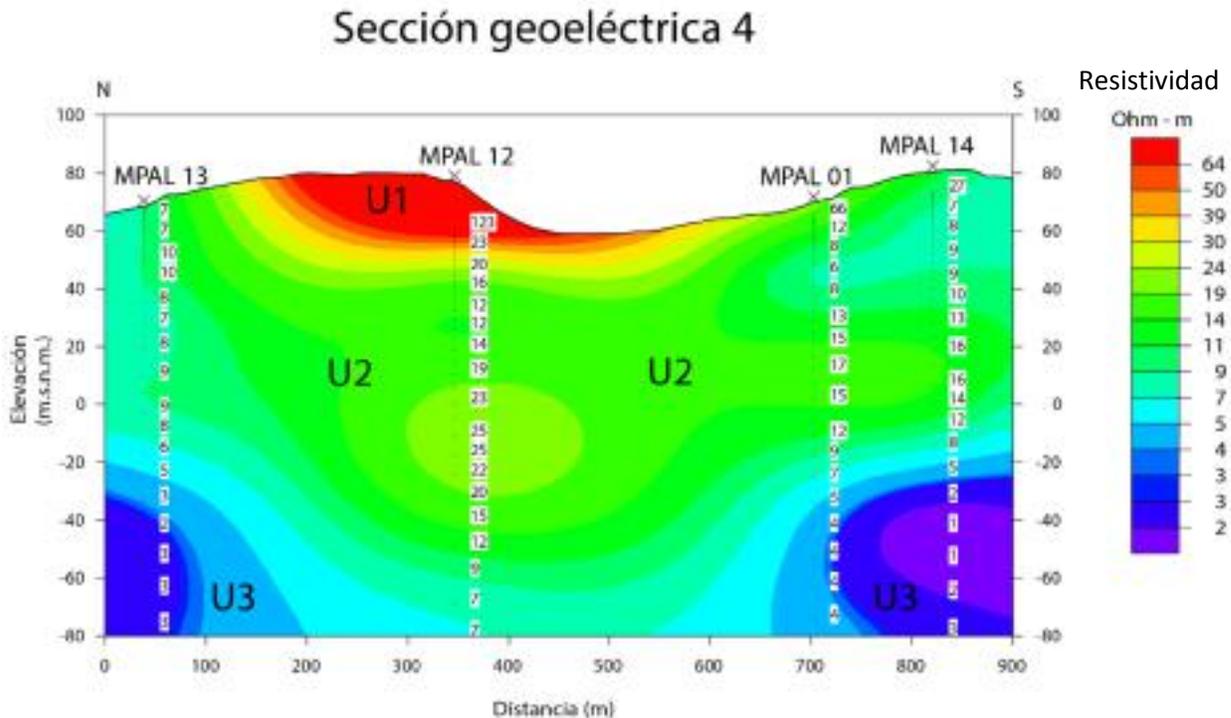


Fig. 5.2.5. Sección geoelectrica 4. Orientación N-S.

Encontramos nuevamente a la unidad U1 en la parte superior de la sección acotada entre los 150 y los 550 metros, alcanzando espesores de hasta 20 m. La unidad U2 se encuentra subyaciendo a la unidad U1 en este acotado, pero aflorando en el resto de la sección, y con el mayor espesor que en todas las secciones anteriores, alcanzando los 130 m la parte central. La unidad U3 sólo se observa en los extremos de la sección por debajo de la unidad U2.

5.3 Calidad del agua

Se analizaron los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio ABC, con ayuda del software Geo Chem. Estas muestras fueron tomadas en zonas donde se ubicó manantialismo.

| Parámetro | Unidad | nom-127-ssa | M1 | M2 (1) | M2 (2) | M3 | M4 | M5 |
|-----------------------------|--------|-------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Color real / Color aparente | Upt/Co | 20 | 15/15 | 10/10 | 8/- | 10/- | 30/- | 10/- |
| Olor | - | Inoloro | Inoloro | Inoloro | Inoloro | Inoloro | 8 | Inoloro |
| Turbiedad | NTU | 5 | <5 | <5 | 0.35 | 0.3 | 0.6 | 0.45 |
| Sabor | - | Agradable | - | - | Agradable | Agradable | Agradable | Agradable |
| DBO5 | mg/L | - | 9.12 | 7.09 | 3 | 3 | 5 | 6 |
| DQO | mg/L | - | 149.89 | 117.1 | - | - | - | - |
| Solidos Totales | mg/L | 1000 | 2240 | 515 | 438 | 400 | 438 | 390 |
| Cloruros | mg/L | 250 | 111.67 | 28.04 | 27.9 | 23.5 | 33.8 | 17.6 |
| Fluoruros | mg/L | 1.5 | 0.9 | 0.49 | - | - | - | - |
| Sulfatos | mg/L | 400 | 1933 | 1735.4 | 37.8 | 9.2 | 28.1 | 16.1 |
| Aluminio | mg/L | 0.2 | - | - | 0.00906 | ND | 0.01055 | ND |
| Arsénico | mg/L | 0.05 | <0.1 | <0.01 | 0.00906 | 0.00812 | ND | 0.00794 |
| Cobre | mg/L | 2 | <0.05 | <0.05 | 0.01013 | 0.00821 | 0.00832 | 0.00705 |
| Cromo total | mg/L | 0.05 | <0.05 | <0.05 | - | - | - | - |
| Fierro | mg/L | 0.3 | 0.132 | 0.145 | 0.06317 | 0.04356 | 0.06164 | 0.6951 |
| Magnesio | mg/L | 300 | 92.6 | 15.9 | 7.4 | 7.3 | 9.5 | 7 |
| Manganeso | mg/L | 0.15 | <0.1 | <0.1 | 0.01026 | 0.01472 | 0.03156 | 0.0437 |
| Mercurio | mg/L | 0.001 | <0.005 | <0.005 | ND | ND | ND | ND |
| Plomo | mg/L | 0.025 | <0.2 | <0.02 | ND | ND | ND | ND |
| Sodio | mg/L | 200 | 157 | 33.9 | 34.785 | 24.615 | 27.368 | 18.762 |
| Zinc | mg/L | 5 | 0.062 | 0.073 | 0.005 | 0.00713 | 0.00332 | 0.00358 |
| Bario | mg/L | 0.7 | - | - | 0.21937 | 0.11105 | 0.0782 | 0.11604 |
| Cadmio | mg/L | 0.005 | <0.01 | <0.01 | ND | ND | ND | ND |
| Cianuros | mg/L | 0.07 | - | - | ND | 0.0006 | 0.001 | 0.0006 |

| | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Boro | mg/L | - | 0.141 | <0.1 | - | - | - | - |
| Potasio | mg/L | 20 | 17.02 | 1.5 | - | - | - | - |
| Calcio | mg/L | 300 | 493 | 135 | 96.9 | 78.1 | 77.9 | 74.6 |
| Acidez | mg/L | - | 11.4 | 13.78 | - | - | - | - |
| Sílice | mg/L | - | 41.5 | 28.95 | - | - | - | - |
| Nitrógeno de Nitritos | mg/L | 0.05 | - | - | 0.0034 | 0.0014 | 0.0015 | 0.0007 |
| Nitrógeno de Nitratos | mg/L | 10 | 2.46 | 0.41 | 0.2624 | 0.0077 | 0.0173 | 0.0226 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/L | 0.5 | <1 | <1 | 0.0622 | 0.1038 | 0.0525 | 0.1425 |
| Nitrógeno Orgánico | mg/L | 0.1 | <1 | <1 | 0.2 | 0.3581 | 0.5033 | 0.4024 |
| Dureza Total | mg/L CaCo3 | 500 | 1293.6 | 335.1 6 | 364 | 315 | 323 | 313 |
| Dureza de calcio | mg/L CaCo3 | - | 891.8 | 292.0 4 | - | - | - | - |
| Dureza de Magnesio | mg/L CaCo3 | - | 401.8 | 43.12 | - | - | - | - |
| Alcalinidad Total | mg/L CaCo3 | 300 | 277.2 | 321.3 | 345 | 312 | 322 | 299 |
| Bicarbonato | mg/L CaCo3 | - | 277.2 | 321.3 | 345 | 312 | 322 | 299 |
| Carbonatos | mg/L CaCo3 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hidróxidos | mg/L CaCo3 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coliformes fecales | NMP/100ml | ND | 70 | 920 | >8 | >8 | >8 | >8 |
| Coliformes totales | NMP/100ml | 2 | 70 | 1600 | >8 | >8 | >8 | >8 |

Tabla 5.3.1. Resultados de las pruebas de laboratorio para 5 muestras tomadas en El Palmar. En negritas los límites permisibles según la NOM 127 y en rojo las muestras que sobrepasan dicho límite.

| ID | UTM-x | UTM-y |
|-----------|-------------|--------------|
| M1 | 683131.9997 | 2262054.7948 |
| M2 | 683483.6136 | 2262563.787 |
| M3 | 682745.5537 | 2261926.066 |
| M4 | 682831.6998 | 2261924.414 |
| M5 | 681702.6935 | 2261417.051 |

Tabla 5.3.2. Ubicación en coordenada UTM para cada una de las muestras

Diagramas de Stiff Y Piper

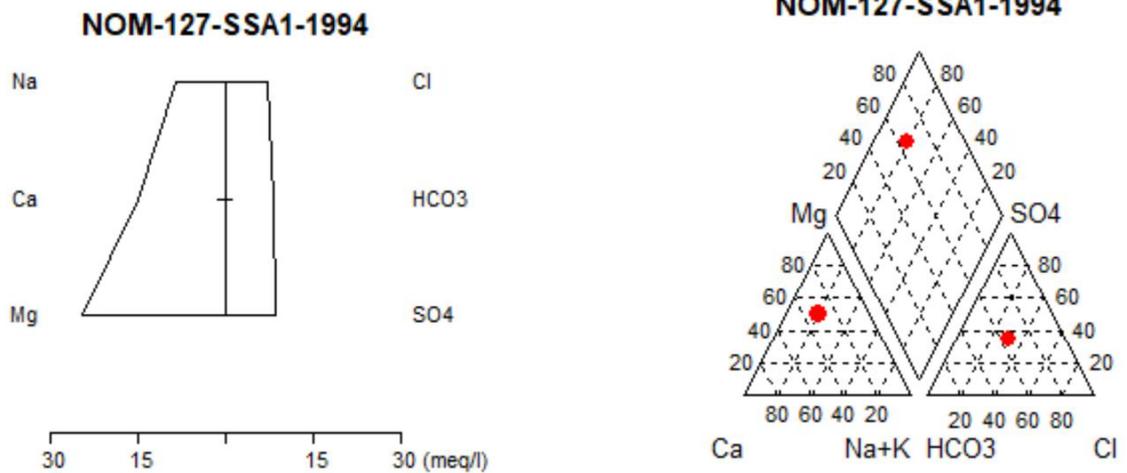


Fig. 5.3.1. Diagramas de Stiff y Piper para la NOM-127

A la izquierda se muestra el diagrama de Stiff para la Norma Oficial Mexicana en donde el catión de magnesio es el que presenta las concentraciones más elevadas, llegando a las 30 meq/l. A la derecha se encuentra el correspondiente diagrama de Piper, que indica que la composición del agua que marca la NOM debe ser *Sulfato-Clorurada*.

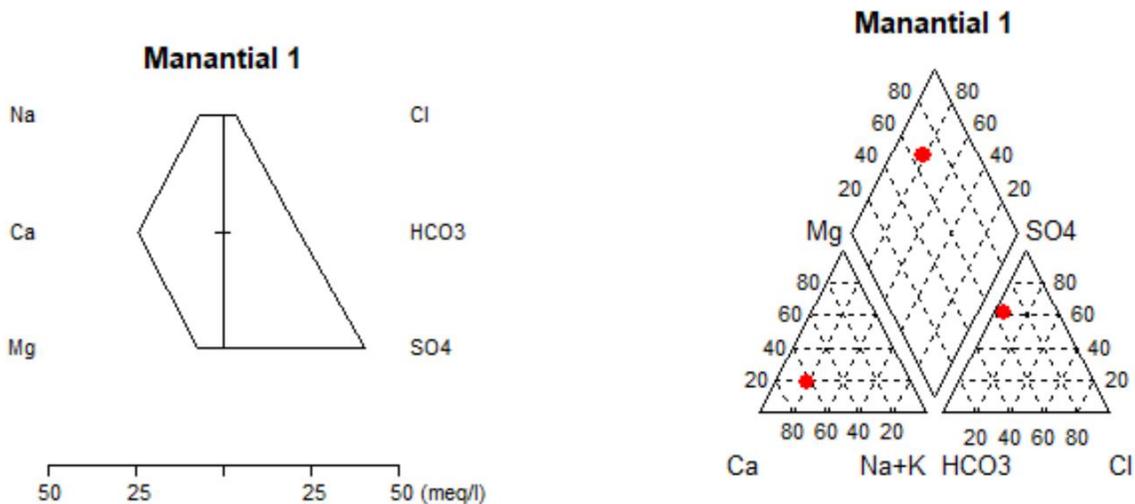


Fig. 5.3.2. Diagramas de Stiff y Piper para la muestra número 1

El diagrama de Stiff muestra que la muestra del Manantial 1 tiene un exceso de carbonatos y (hasta 25 meq/l) sulfatos (hasta 45 meq/l), de acuerdo a la NOM. El diagrama de Piper indica la presencia de agua *Sulfato-Clorurada*.

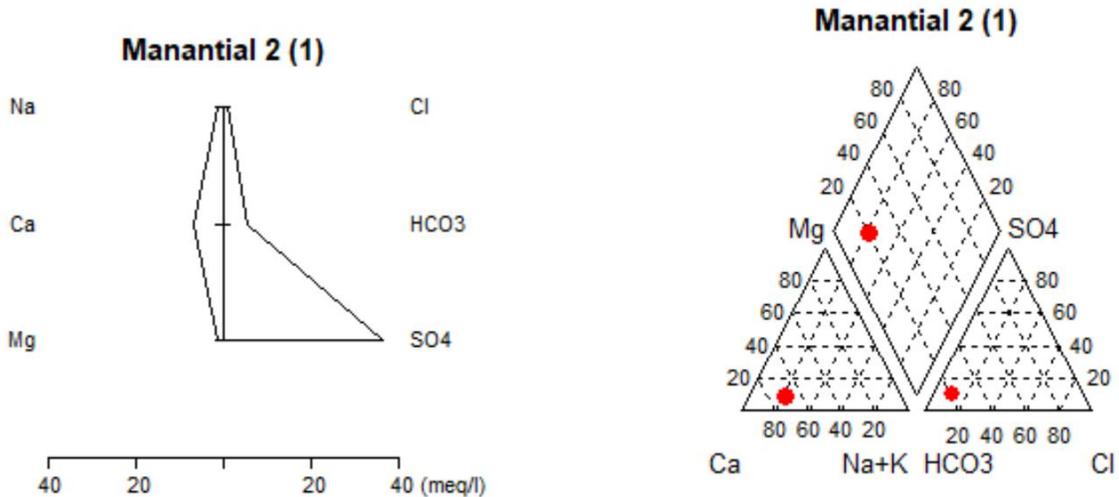


Fig. 5.3.3. Diagrama de Stiff y Piper para la muestra número 2. Este lugar se repitió.

Este diagrama de Stiff muestra algo muy peculiar de la muestra del Manantial 2 (1), pues indica valores para los cationes, mucho más bajos de los que marca la NOM, por el contrario, también encontramos que en la parte de los aniones, el sulfato rebasa el limite (hasta 40 meq/l). Piper indica que esta muestra pertenece a agua *Cálcico-Carbonatadas*.

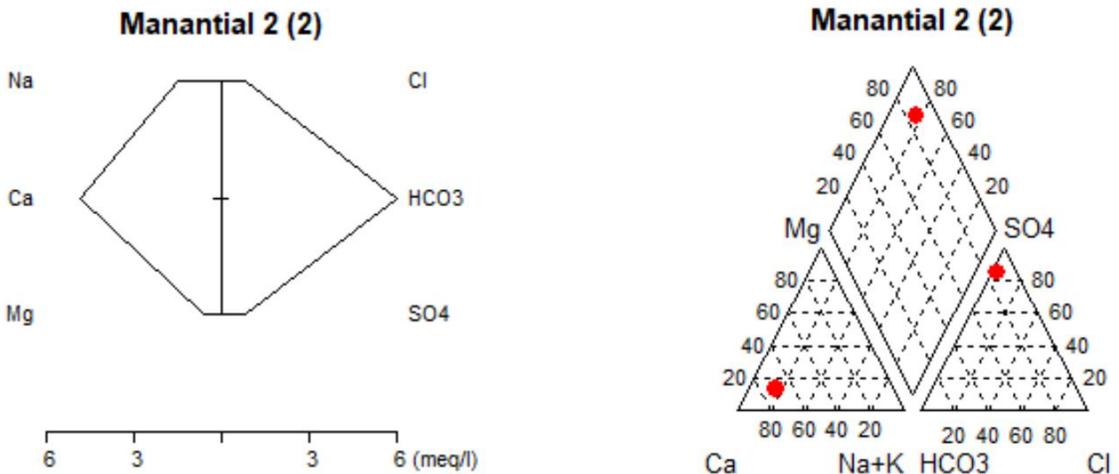


Fig. 5.3.4. Diagrama de Stiff y Piper para la muestra número 2. Este lugar se repitió.

Esta muestra indica un diagrama de Stiff en el que todos los iones están por debajo del límite (tanto en cationes como aniones alcanza solo concentraciones máximas de 6 meq/l) que indica la NOM. En Piper se muestra que es un agua de tipo *Sulfato-Clorurada*.

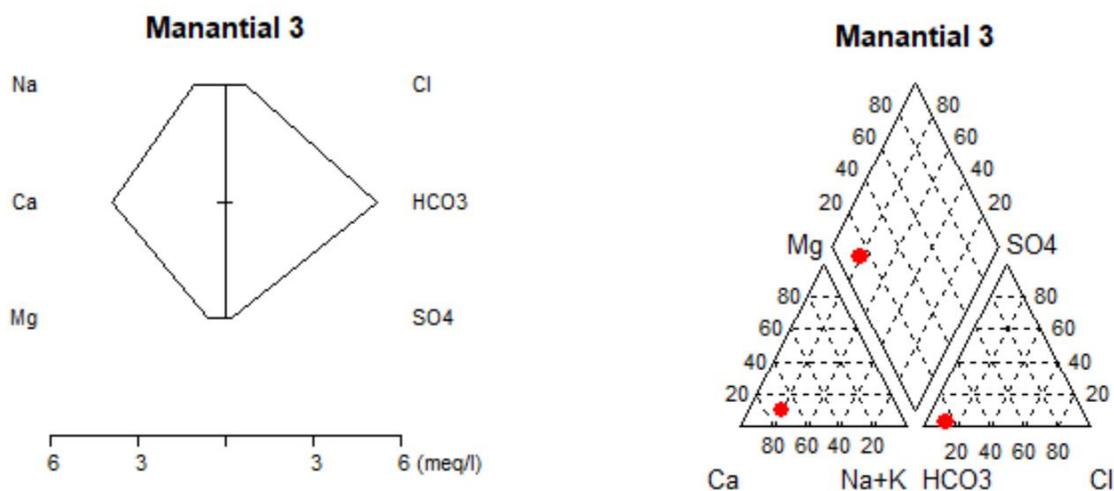


Fig. 5.3.5. Diagrama de Stiff y Piper para la muestra número 3.

Esta muestra contiene todos los iones por debajo del límite de la NOM. Pero a diferencia de las anteriores notamos que se trata de agua *Cálcico-Carbonatada*.

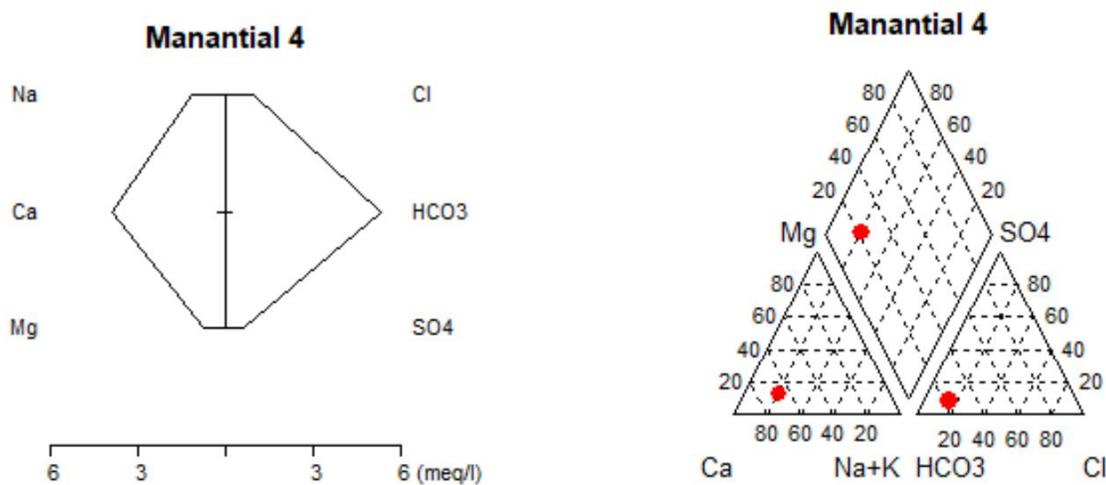


Fig. 5.3.6. Diagrama de Stiff y Piper para la muestra número 4

Al igual que la muestra anterior, encontramos en Stiff que todos los iones se encuentran por debajo de la norma y que Piper nos indica que se trata de agua *Cálcico-Carbonatada*.

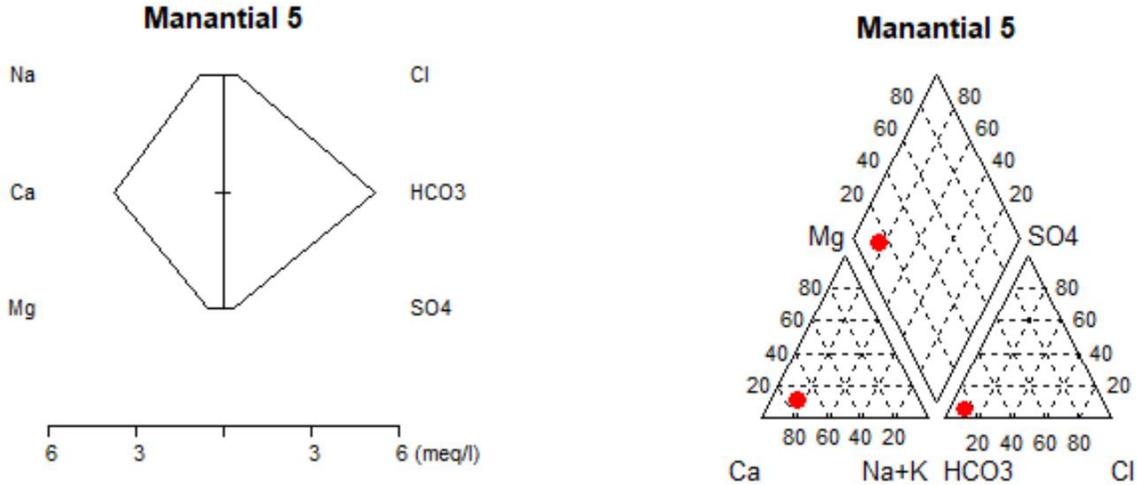


Fig. 5.3.7. Diagrama de Stiff y Piper para la muestra número 5.

La última muestra que se tomó en manantial, indica la presencia de agua con todos los iones por debajo de la NOM y al igual que las dos pasadas, el diagrama de Piper nos dice que se trata de agua *Cálcico-Carbonatada*.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

1. La comunidad El Palmar se encuentra asentada en lo que geológicamente se denomina Formación Tuxpan del terciario, compuesta por depósitos granulares heterogéneos y anisótropos fuertemente empacados y cementados por carbonatos. Por lo anterior, la ocurrencia de agua subterránea se ve seriamente afectada debido a la baja porosidad y a la baja permeabilidad de los materiales litológicos del área de estudio.
2. No es posible denominar como acuífero regional a estos depósitos terciarios, más bien, dentro de dicha formación se encuentran horizontes formados por areniscas de grado medio a fino que, cuando se encuentran interconectados y bien recargados puede formar un acuífero local semiconfinado de muy bajo rendimiento.
3. La dirección de flujo se establece en la localidad de noreste a suroeste, con cargas que van de 25 a 50 msnm, con un control topográfico por los lomeríos en forma descendente hacia la línea de costa.
4. Los manantiales permanentes son de caudal mínimo, menor a un cuarto de litro por segundo, por lo que tampoco son opción viable.
5. Las norias existentes en el poblado no son capaces de sustentar un bombeo continuo, en época de lluvias se necesitan entre 12 y 72 horas para su recarga, y en época de estiaje la recarga es nula.
6. Cualquier obra excavada a poca profundidad, definitivamente no soportará una extracción continua a través del tiempo. Es obligatorio contar con obras subterráneas más profundas.
7. La exploración geofísica permitió localizar resistividades entre 10 y 14 ohm-m unidad geoelectrica correlacionable con la unidad de areniscas de la Formación Tuxpan, indicativo de zonas saturadas a profundidades de entre 40 y 50 metros.
8. Todas las captaciones presentaron contaminación por coliformes fecales, indicativo de impacto de actividad humana en el acuífero.

9. Los análisis químicos de las muestras revelaron que no hay presencia de algún contaminante de alta peligrosidad en la zona, todos los que están fuera de la norma son de fácil tratamiento.
10. Los censos de uso de agua en la comunidad reflejaron que cada habitante utiliza alrededor de 35 litros de agua para sus actividades diarias.

6.2 Recomendaciones

1. Como resultado de este estudio, se encuentra que esta es una zona en la que potencialmente se puede obtener agua subterránea. Por el contrario, Conagua no tenía contemplada a la comunidad dentro de sus balances de agua y lo reportaba con una zona completamente impermeable, por lo que en estudios posteriores esta área deberá considerarse para realizar los correspondientes cálculos para balances de agua subterránea.

2.

a) Perforar un pozo profundo que penetre una gran parte de las arenas saturadas de la Formación Tuxpan (Unidad Geoeléctrica 2), que permita recolectar el volumen de agua suficiente para dotar a la comunidad de El Palmar.

El sitio de perforación tiene las coordenadas $X = 683,596.37$; $Y = 2,262,651.83$ y una profundidad recomendada de 50 m.

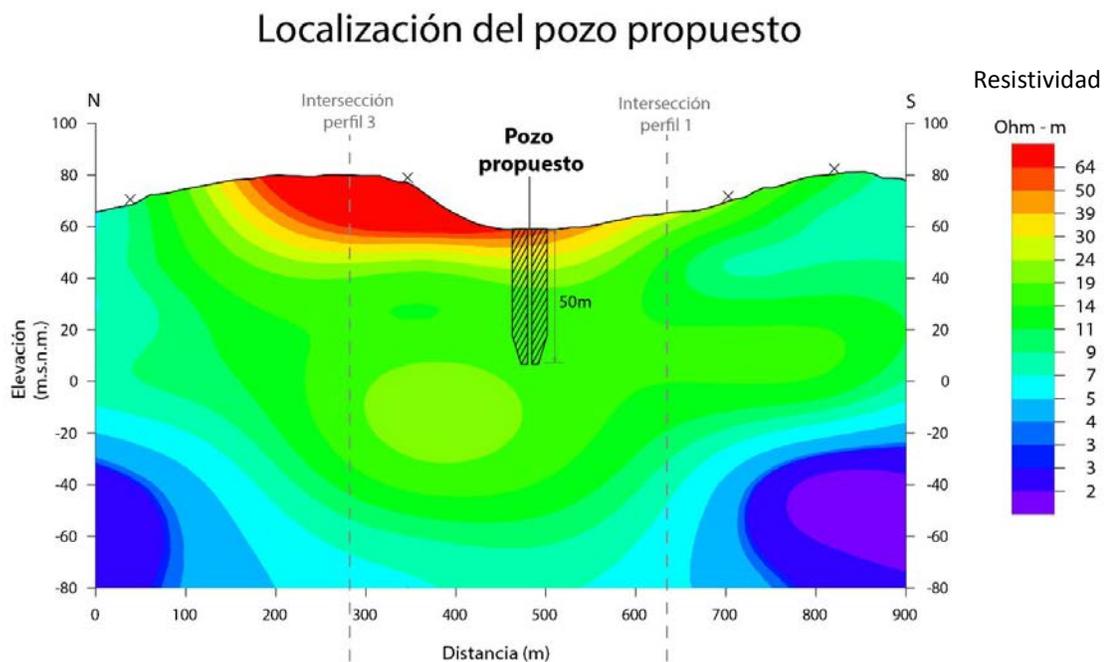


Fig. 6.2.1. Localización en perfil del pozo propuesto sobre el perfil 4.

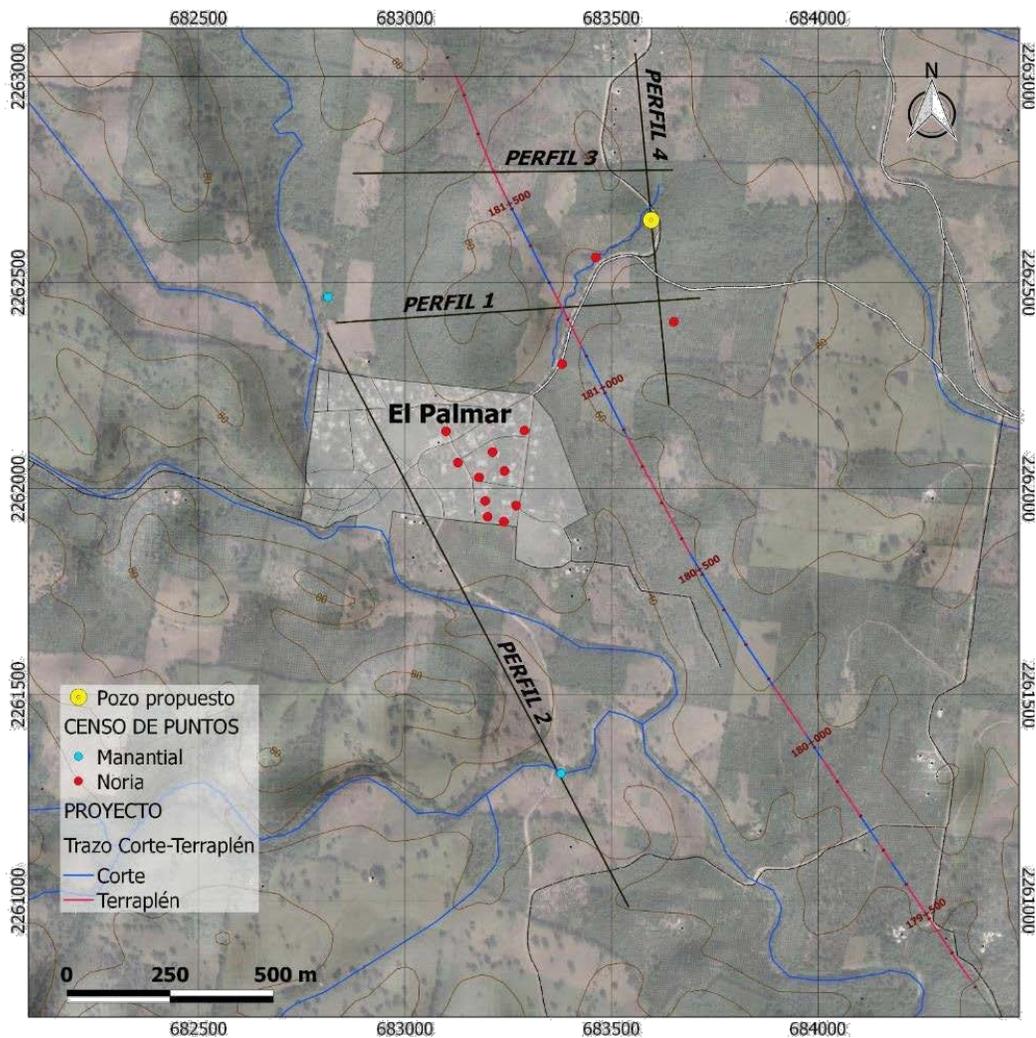


Fig. 6.2.2. Localización en planta del pozo propuesto y los perfiles realizados. Mapa realizado con base de datos en Qgis (elaborado por The Hidrogeology Group).

Aunque los pobladores mencionaron sólo necesitar 35 litros diarios de agua, se hará el cálculo de extracción para abastecer hasta 50 litros para ofrecer una mejor calidad de vida a la comunidad.

Para abastecer este número, un bombeo constante de 1 litro por segundo sería más que suficiente, pero para optimizar gastos y evitar estresar al acuífero, se recomienda un bombeo de 3 litros por segundo durante 3 horas al día.

Una vez extraída el agua se recomienda realizar nuevamente análisis químicos del agua para planear un tratamiento adecuado para su potabilización.

La ubicación que se propone, se encuentra a 750 metros en dirección noreste, de la noria comunitaria, por lo que esta distancia es también un factor a considerar para poder tener acceso a este recurso.

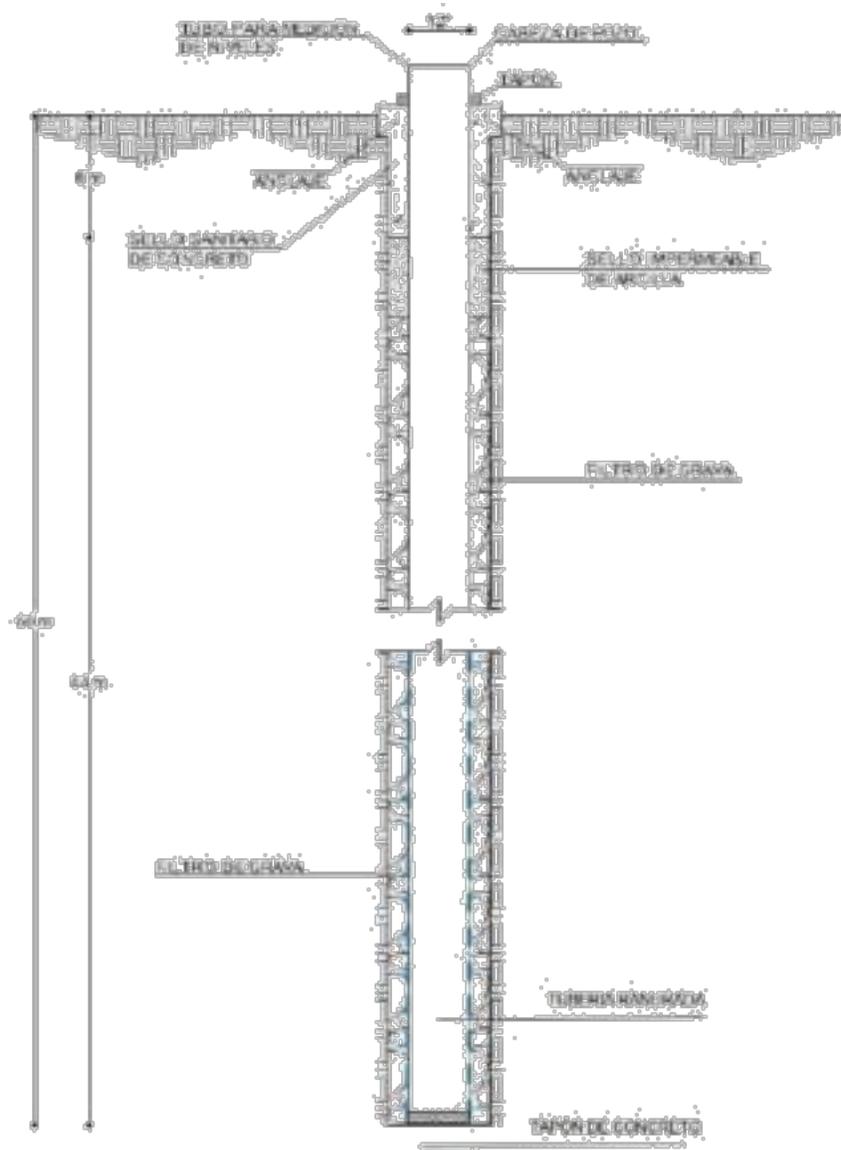


Fig. 6.2.3. Corte esquemático del pozo de 50 m. Martínez, 2017

- b) Como segunda opción se recomienda la excavación de un pozo somero de tipo estrella a 20 metros de profundidad en el mismo sitio señalado, de tal manera que se perfore incluso el conglomerado compacto del área.

Esta obra contaría con drenes perforados en forma radial a un metro de distancia de la pared para aumentar la captación de agua.

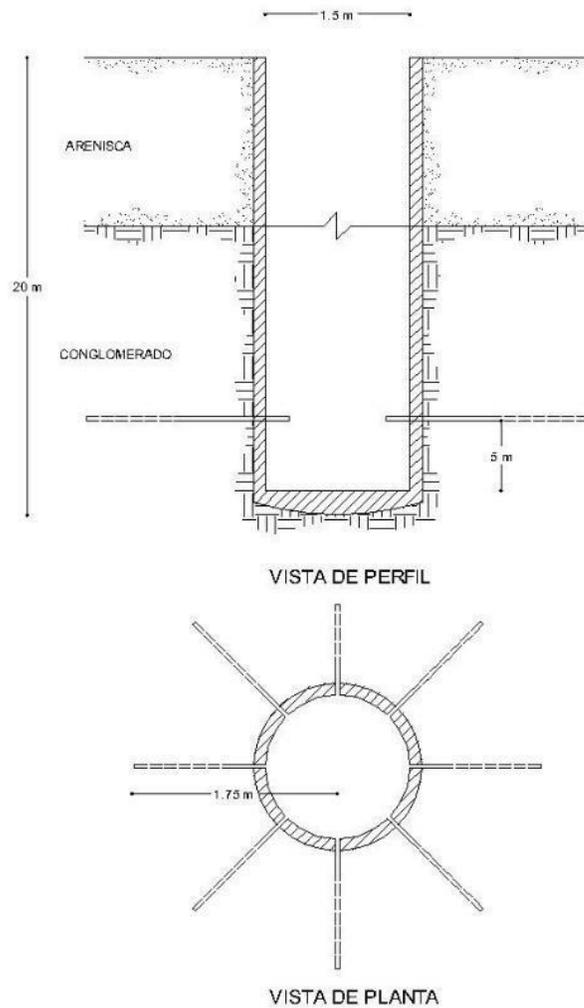


Fig. 6.2.4 Corte esquemático del pozo de 20 m. Martínez, 2017.

3. Todos los análisis practicados resultados por encima de la norma 127 por lo que no se garantiza la potabilidad en ese parámetro para toda el agua que se encuentre en el subsuelo de la zona de estudio y sus alrededores. La misma norma recomienda un tratamiento con desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

Para la muestra M1, se encuentra rebasado el límite para sólidos disueltos totales, para lo cual los tratamientos sugeridos son: coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

Las muestras M1 y M2, presentan una concentración por encima de la norma para sulfatos, para lo cual se recomienda tratar con intercambio iónico u ósmosis inversa.

La muestra M1 rebasa el límite para arsénico que puede ser tratado con coagulación-floculación-precipitación-filtración. En el caso de la dureza total (se incluye calcio y alcalinidad), los métodos que recomienda la norma son: ablandamiento químico o intercambio iónico.

Bibliografía

- Cherry, R. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliff, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (s.f.). *Actualización de la disponibilidad media anual en el acuífero Tecolutla en el estado de Veracruz*.
- CONAPO, C. N. (2013). *Índice absoluto de marginación 2000 - 2010*. México.
- Custodio, E. (1976). *Hidrología Subterránea (Tomo I y II)*. Barcelona: Ediciones Omega, S. A.
- EXYCO S.A. (1981). *Estudio de prospección geohidrológica en la zona de Tecolutla, Veracruz*.
- Fetter, C. (1999). *Contaminant Hydrogeology*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Fetter, C. (2001). *Applied Hydrogeology*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Ingenieros civiles y geólogos asociados S.A. (1981). *Estudio geohidrológico de fuentes de abastecimiento de agua potable en diversas localidades del estado de Veracruz*.
- Lutgens, E. J. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Education.
- McNeill, J. (1994). *Principles and application of time domain electromagnetic techniques for resistivity sounding*. Ontario, Canadá: Geonics Limited.
- Menke, W. (1990). *Geophysical Theory*. New York, NY: Columbia University Press.
- Nabihian, M. N. (2008). *Electromagnetic methods in applied geophysics (Volumen 2)*. Tulsa, Oklahoma: Society of Exploration Geophysics.
- Nyer, E. K. (1992). *Groundwater Treatment Technology*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.

- Palmer, C. M. (1991). *Principles of Contaminant Hydrogeology*. Chelsea, Michigan: Lewis Publisher, INC.
- Ramírez López, C. (2012). El entorno histórico en el que se dio el Servicio Social. *Gaceta Médica de México*, 281-283.
- Reitz, J. R. (1984). *Fundamentos de Teoría Electromagnética*. Wilmington, Delaware: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1981). *Estudio de las condiciones geohidrológicas en la zona de Papantla, Veracruz*.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1982). *Atlas geohidrológico del estado de Veracruz: Banco nacional de información geohidrológica*.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1984). *Atlas geohidrológico del estado de Veracruz: Compendio de la exploración del subsuelo*.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1984). *Atlas geohidrológico del estado de Veracruz: Compendio de la exploración del subsuelo Vol. 2*.