



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA FIJAR EL SITIO DE
PERFORACIÓN DE UN POZO DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE EN EL POBLADO DE VALLE LUZ,
MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TOTOLAPAN, GRO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOFÍSICO

P R E S E N T A:

LUIS BAUTISTA GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS: M.C. DAVID REY ALATRISTE VILCHIS



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO D. F. 2005

m. 344583



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-518

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: BAUTISTA GONZÁLEZ

Luis

FECHA: 27-Mayo-05

FIRMA: [Firma]

SR. LUIS BAUTISTA GONZÁLEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. en C. David Rey Alatraste Vilchis y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geofísico:

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA FIJAR EL SITIO DE PERFORACIÓN DE UN POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL POBLADO DE VALLE LUZ, MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TOTOLAPAN, GRO.

- RESUMEN
- INTRODUCCIÓN
- I GENERALIDADES
- II BASES GEOLÓGICAS, GEOFÍSICAS Y GEOGRÁFICAS PARA LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO
- III ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO
- IV ESTUDIO GEOELÉCTRICO
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, D. F., a 12 de mayo de 2005

EL DIRECTOR

[Firma]
M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*JAGC*gtg

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Dr. Luis Bautista González y Sra. Carmen González González por su apoyo, enseñanza y que siempre confiaron en mi.

A mis hermanos Jahir, Julián, Javier, Neftalí(†), Roy, Geovani y Yasmin con quienes eh aprendido a salir adelante.

A mis tíos Marcelino(†), Margarita, Eugenia, Tomasa por su apoyo.

A mis primos Christian, Yessica, Deny, a quienes le agradezco sus consejos y por compartir grandes momentos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México institución que me dio la oportunidad de estudiar y tener una formación profesional.

A mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería:

Mario, Leticia, Itzel, Gerardo(Gepard), Noé, Beatriz, Angélica, Rodrigo, Carlos César, Sandra; Luz, Antonio, Alexis, Dante, Juan Raymundo, Adolfo, Quetzalcoatl, Sergio, Andrea, Alicia, Erika, Adriana, Mario Alberto, Gerardo(Chilma), Diana, Valentín, Isaías, Erick, José Luis, Carlos, Joel, Israel, Raúl, Antelmo, Abraham y Elizabeth, por compartir grandes momentos.

A mis profesores Dr. Rafael Huizar Álvarez, M.C. David Rey Alatraste Vilchis, Ing. Alejandro Arroyo, Ing. Héctor Macías e Ing. Javier Urbieta por su apoyo y consejos para la culminación de este trabajo.

A D.G.O.S.E. por las facilidades y el apoyo para cumplir con el proyecto establecido.

A la gente de Valle Luz y de San Miguel Totolapan por todo el apoyo brindado durante mi estancia en el proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. NATURALES	1
1.1.1. Hidrología e Hidrografía	1
1.1.2. Orografía	2
1.1.3. Clima y Vegetación	2
1.1.4. Flora y Fauna	2
1.2. SOCIALES	3
1.2.1. Localización Geográfica y Vías de Comunicación	3
1.2.2. Orígenes	4
1.2.3. Economía	5
1.2.4. Cultura y Tradiciones	5
1.2.5. Vías de Comunicación	5
1.2.6. Organización Política	6
1.2.7. Servicios Públicos	7

CAPITULO 2. BASES GEOLÓGICAS, GEOFÍSICAS Y GEOGRÁFICAS PARA LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO

2.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	8
2.2. ESTUDIOS GEOLÓGICOS	9
2.2.1. Verificación del Marco Geológico Superficial	9
2.3. CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS	10
2.3.1. Observaciones Piezométricas	11
2.4. PRUEBAS DE BOMBEO	11
2.5. MUESTREO Y ANÁLISIS	13
2.5.1. Parámetros Físico-Químicos	13
2.5.2. Análisis de Parámetros Especiales	14
2.5.3. Análisis Isotópicos	15
2.5.4. Análisis Bacteriológicos	15
2.6. ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS	16
2.6.1. Métodos de Corriente Continua	17
2.6.2. Sondeo Eléctrico Vertical y Polarización Inducida	17
2.6.3. Calicatas	17
2.6.4. Métodos de Corriente Alterna	18
2.6.4.1. Fuente Natural	18
2.6.4.2. Fuente Artificial	19
2.6.4.3. Sondeo por Frecuencia	19
2.6.4.4. Sondeo por Transitorio Electromagnético TEM	19
2.6.4.5. Calicatas Electromagnéticas	20

CAPITULO 3. ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO

3.1. GEOLOGÍA	21
3.1.1. Fisiografía	21
3.1.2. Geomorfología	22
3.1.3. Geología Regional	23
3.2. ESTRATIGRAFÍA	24
3.2.1. Roca Verde Taxco Viejo	24
3.2.2. Formación Acuitlapan	24
3.2.3. Formación Amatepec	25
3.2.4. Formación Xochipala	25
3.2.5. Formación Arcelia (Formación Mal Paso)	26
3.2.6. Formación Balsas	26
3.2.7. Depósitos Recientes	27
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	27
3.4. GEOLOGÍA LOCAL	28
3.4.1. Descripción Litológica	28
3.5. GEOHIDROLOGÍA	33
3.5.1. Análisis del Censo de Aprovechamientos y Contaminación	33
3.5.2. Medición de los Niveles Estáticos	35
3.6. ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGUA	38
3.6.1. Composición Mineralógica del Agua	38
3.6.2. Ion Cloruro Cl	38
3.6.3. Ion Calcio Ca	38
3.6.4. Ion Sodio Na	38
3.6.5. Ion Potasio K	39
3.6.6. Ion Magnesio Mg	39
3.6.7. Ion Sulfato SO ₄	39
3.6.8. Iones Bicarbonato y Carbonato HCO ₃ , CO ₃	39
3.6.9. Análisis Químico del Agua	40
3.7. APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE STIFF	42
3.8. APLICACIÓN DE LOS POLÍGONOS DE PIPER	43

CAPITULO 4. ESTUDIO GEOELÉCTRICO

4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL SONDEO ELÉCTROMAGNÉTICO TRANSITORIO TEM	44
4.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO	49
4.3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	51
4.4. RESULTADOS DEL PROCESO DE LOS DATOS	52
4.5. PERFILES GEOELÉCTRICOS	53
4.6. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL	56
4.6.1. Arreglos Geométricos de los Electrodo	57

4.6.2. Sistema Transmisor	57
4.6.3. Modelos Geoeléctricos	59
4.6.4. Semiespacio Homogéneo	59
4.6.5. Densidad de Corriente	61
4.6.6. SemiespacioEstratificado	63
4.7. APLICACIÓN DEL MÉTODO	66
4.8. ORDENAMIENTO DE LOS DATOS	68
4.9. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	69
4.10. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS PROCESADOS	72
4.11. CORRELACIÓN DE LOS MÉTODOS	74
CONCLUSIONES	75
BILIOGRAFÍA	77
ANEXOS	79

RESUMEN

La necesidad de cubrir la demanda del servicio de agua potable representa para cualquier asentamiento humano, una tarea impostergable. El sustento para el crecimiento de las comunidades alejadas del desarrollo debe fundamentarse en la creación de una infraestructura básica, que proporcione a sus habitantes las condiciones de bienestar necesarias, al cual todos tenemos derecho.

Para alcanzar plenamente los propósitos de mayor desarrollo social, político y económico a que aspiran los mexicanos, se requiere combatir la desigualdad que se distingue en las actividades productivas y sociales en las distintas regiones y sectores a lo largo del país. La inequidad se expresa entre las personas por la diferencia de oportunidades, de ingreso, por los desequilibrios que representa la economía rural, respecto a las actividades industriales y de servicios.

Asimismo, la pobreza extrema constituye uno de los retos que reclama soluciones con urgencia, pues impide el ejercicio de las libertades y anula la igualdad de oportunidades. Por esta razón, la política de desarrollo social debe asumir las responsabilidades de sustentar el desarrollo de las comunidades que carecen de los servicios básicos como lo es el abastecimiento de agua potable. En los últimos años la política social del gobierno de México intenta acercarse a dar respuesta a la problemática de la pobreza y marginación de comunidades rurales y ha aplicado un proyecto de desarrollo social que responde a estas necesidades.

En lo anteriormente mencionado, el presente trabajo lo desarrollé por medio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que mediante la Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE), a través del Departamento de Programas Multidisciplinarios, en acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), realiza un programa de servicio social, denominado "La Universidad en tu Comunidad"; el cual tiene como fin establecer un plan de trabajo de desarrollo social en las comunidades rurales del país con un alto índice de pobreza.

Es así como la ingeniería entra en apoyo en estos programas en beneficio de la sociedad microregiones, como parte de este estudio hidrogeológico, entró en apoyo la ingeniería civil, geológica y geofísica, donde como parte de mi especialidad la geohidrología tiene como fin la ubicación del sitio para la perforación de un pozo de abastecimiento de agua potable, al poblado de Valle Luz, Municipio de San Miguel Totolapan, Estado de Guerrero.

INTRODUCCIÓN

La exploración del agua subterránea adquiere un perfil cada vez más importante debido a dos razones fundamentales:

- El aumento de la demanda de agua ocasionada por el acelerado crecimiento de la población, las industrias y las zonas agrícolas con riego.
- La cancelación del uso de los escurrimientos superficiales, dada la enorme contaminación que han sufrido, principalmente por la actividad humana.

Valorar el comportamiento y características de los acuíferos no es sencilla, por un lado requiere del conocimiento del subsuelo mediante sus propiedades físicas a profundidades cada vez mayores, y por el otro, la exploración directa con perforación de pozos de prueba, cuyos costos hacen prohibitivo emplearlo a gran escala. Por ello son necesarios métodos de exploración indirectos que permitan evaluar los acuíferos con un mínimo de perforaciones. Es en esta parte donde aparecen los métodos geofísicos, con los que se puede investigar las propiedades físicas del subsuelo desde la superficie. Las técnicas empleadas pueden determinar propiedades como la resistividad eléctrica, densidad, velocidad de transmisión de las ondas elásticas, susceptibilidad magnética, polarización, radiactividad natural, etcétera; todas ellas íntimamente ligadas a la estructura y constitución de la litología del subsuelo, a la presencia de agua, y en ciertos casos, a su composición.

Este proyecto se basa en realizar estudios de ingeniería geológica, ingeniería geofísica e ingeniería civil, para poder llevar a la población de Valle Luz la distribución de agua potable. Por lo cual la primera parte del estudio fue realizar la exploración geológica de la zona de estudio, con el resultado geológico se obtendrá el lugar de máxima recarga, posteriormente para verificar la información, se realizarán estudios geofísicos, el cual consistió en la aplicación de seis Sondeos Electromagnéticos Transitorios TEM y dos Sondeos Eléctricos Verticales SEV, con los cuales nos dará un modelo geoelectrico del subsuelo, el cual servirá para saber los espesores de los diferentes cuerpos de roca y del acuífero, y así poder decidir cual será el lugar ideal de la ubicación del pozo, y realizar el diseño de la red hidráulica de la distribución del agua potable.

La primera parte consistió en analizar en las cartas topográficas Villa Hidalgo (E14A86) y Ajuchitlán del Progreso (E14A85) ambas en escala 1:50,000, adquiridas en el INEGI, para determinar las rutas de reconocimiento geológico en un área de estudio de 9 Km. Posteriormente realicé la búsqueda de la existencia de estudios previos, o los más cercanos tanto geológicos, geofísicos, de Sondeos Eléctricos Vericales o Sondeos Electromagnéticos, en el Municipio de San Miguel Totolapan. Sobre estudios geológicos realizados, solo encontré información de la Ciudad de Altamirano, Tlapehuala y de Arcelia, no encontré estudios de registro geofísicos de pozos, sólo de ingeniería civil.

Posteriormente ya establecido en Valle Luz y para cumplir con el estudio propuesto, inicialmente realicé recorridos de reconocimiento geológico, para conocer las características y distribución de las diferentes estructuras geológicas existentes cercanas a la población, las cuales me servirían para determinar el comportamiento de las diferentes estructuras y así mismo el del agua subterránea, y con ello determinar la zona idónea para realizar los sondeos geofísicos, los cuales permitirán confirmar la interpretación geológica estructural de la zona previamente obtenida y permitirá indicar la profundidad a la cual se encuentra la zona saturada.

Después de recopilar la información anterior, analizarla e interpretarla, y con el asesoramiento del Dr. Rafael Huizar Álvarez, responsable del proyecto, determiné los seis sitios donde se realizarían los Sondeos Electromagnéticos Transitorios TEM por parte de la compañía CIGSA, quienes me permitieron acompañarlos en la toma de los datos de campo y me proporcionaron los datos para poder interpretarlos. Al obtener el modelo geoelectrico del área de estudio, con el apoyo del instituto de geología y con el apoyo de mi director de tesis, decidí realizar un par de Sondeos Eléctricos Verticales, para obtener una mejor interpretación de los espesores de los cuerpos de roca existentes.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la ubicación idónea para la perforación de un pozo de agua para el abastecimiento de agua potable para la localidad de Valle Luz, Municipio de San Miguel Totolapan, Guerrero; con una población del orden de los 2,500 habitantes.

ACTIVIDADES REALIZADAS

- a) Realizar exploración geológica para identificar los cuerpos de roca de la localidad.
- b) Seleccionar la (s) posible(s) fuente (s) de abastecimiento.
- c) Realizar mediciones del nivel estático en norias.
- d) Realizar los estudios geoelectricos para determinar la ubicación de la perforación del pozo.

INFORMACIÓN DISPONIBLE

- a) Se recopiló la información geográfica del área de la perforación (localización, vías de comunicación, hidrografía, clima, fisiografía, precipitación, temperatura, suelo, vegetación).
- b) Estudio de factibilidad hidrogeológica (geología, geohidrología, exploración geofísica, integración de la información geológico-geohidrológico-geofísico, tipos de materiales a perforar).

CAPITULO 1. GENERALIDADES

Guerrero es uno de los Estados de la República Mexicana con alto grado de marginación y esta situación se refleja, entre otras cosas, en el trabajo cartográfico, que es escaso en área de estudio (San Miguel Totolapan). La disponibilidad de la información documental sobre su cartografía y estadísticas de población o de servicios existentes, se cuenta sólo a nivel municipal o estatal, por lo cual este apartado se tratará con estas salvedades.

1.1. NATURALES

1.1.1 Hidrología e Hidrografía

El Municipio de San Miguel Totolapan presenta una precipitación media anual de 1200 mm, siendo en verano donde se concentran más las precipitaciones. Las precipitaciones promedio mensuales, de los meses más lluviosos, son del orden de 370 a 400 mm.

El sistema fluvial incluye numerosas corrientes intermitentes y perennes localizadas dentro de la región Río Balsas RH-18 (INEGI, 2000). Esta región cubre la mayor parte del Estado (63.8%) desde Filo Mayor (la parte más alta de la Sierra Madre del Sur) extendiéndose en forma de un inmenso valle por los estados de Michoacán, Guerrero, México, Morelos, Puebla, Oaxaca y Tlaxcala.

El Río Balsas está formado por los ríos Atoyac, Nexapa y Tlapaneco. Los dos primeros se unen en las inmediaciones del pequeño centro de población de San Juan del Río, Puebla. Y corriendo juntos reciben por la margen derecha al Río Nexapa, en Paso Hondo, que se localiza al sur de Coetzala, Puebla, uniéndoseles a 10 km aguas debajo de esta confluencia, por la margen izquierda el Río Tlapaneco. Desde San Juan del Río, Puebla. Hasta el mar, el Balsas tiene un recorrido de 720 km, siendo sus afluentes más importantes los que recibe por la margen derecha, como los ríos Amacuzac, Tepecoacuilco, Poliutla o de la Montaña, Cutzamala, Tacámbaro o Carácuaro y Repalcatepec. Los afluentes de la margen izquierda son en general de corto recorrido y su aportación al caudal del balsas es menor que la de los de la margen derecha, siendo los principales los de las Truchas o Ajuchitlán, Amuco, Cuirio y del Oro, todos ellos localizados en la región de la Tierra Caliente del Estado de Guerrero.

El Río Balsas con 13,862,000,000 m³ de escurrimiento medio anual, es la corriente más importante de las vertientes del Pacífico en México, siendo también importantes en la misma vertiente los ríos Lerma-Santiago con 8,764,000,000 m³, Verde con 6,173,000,000 m³ y Fuerte, 5,933,000,000 m³ de escurrimiento medio anual (Consejo de Recursos Minerales, Estado de Guerrero 1998).

Hidrológicamente el poblado de Valle Luz, es parte de la llanura de inundación del Río Balsas y se integra a una pequeña subcuenca llamada Zirándaro que desciende vertiente Sur de la Altiplanicie Neovolcánica en el Estado de México hacia una altitud de 2000 m.s.n.m., que confluye directamente al Balsas; en la zona de estudio forma un gran meandro de 2 por 1.5 Kms.

1.1.2. Orografía

El conjunto montañoso que delimita a la Cuenca del Río Balsas lo constituye al norte la Altiplanicie Neovolcánica Mexicana, al sur y poniente la Sierra Madre del Sur y al oriente la Sierra de Guerrero Oaxaca.

El área de estudio está ubicada en la parte nororiental de un amplio valle denominado Tierra Caliente del estado de Guerrero. La región de planicie es conocida con el nombre de Tierra Caliente, que se caracteriza por ser un extenso valle donde destacan pequeños lomeríos de origen volcánico. En general, se puede decir que esta planicie tiene una altura promedio de 300 m sobre el nivel del mar (Consejo de Recursos Minerales, Estado de Guerrero 1998).

1.1.3. Clima y Vegetación

Los sistemas montañosos y las lluvias principalmente, definen en la cuenca del Río Balsas una gran variedad de climas, que van desde el semiseco, con invierno y primaveras secos, cálidos sin estación invernal, como el de la Tierra Caliente de Guerrero. Según la clasificación de climas de Köppen, modificada por García-Amaro (1988), en la zona predomina el clima [Awo] cálido subhúmedo con lluvias en verano, el más seco, y se encuentra en la depresión del Balsas y la Planicie Costera, con una temperatura promedio de 26.9°C y una precipitación anual de 951.9 mm (Fuente S.M.N. Normales Climatológicas. Estado de Guerrero 1985).

La vegetación de toda esa gran región, corresponde principalmente a: selva baja caducifolia, donde los árboles son de altura baja, (menos de 15 m), matorrales y pastos.

1.1.4. Flora y Fauna

La vegetación que predomina es la selva caducifolia caracterizada por pequeños arbustos leguminosos como el huisache, especies leñosas como el mezquite y especies forestales como bosques de pino, oyamel y encino. Respecto a la fauna; es muy variada, existen especies como la iguana, ardilla, venado, tigrillo, puma, gato montes, mapache, águila, zopilote, además de diversos tipos de serpientes.

1.2. SOCIALES

1.2.1. Localización Geográfica y Vías de Comunicación

La zona se encuentra localizada en la parte central de la Cuenca del Río Balsas, en el Estado de Guerrero, cerca del límite con el Estado de México. Las coordenadas geográficas de San Miguel Totolapan son: (18°07'55.32" N 100°20'19.44" W) tomadas de la Carta topográfica Villa Hidalgo (E14A86), escala 1:50,000 del INEGI.

Puede considerarse pobremente comunicada la región de Tierra Caliente; aunque Ciudad Altamirano y Arcelia son las ciudades más importantes y próximas al municipio, se comunican hacia la Ciudad de México vía la ciudad de Iguala, usando el camino que entronca con la carretera México-Acapulco, o por la vía Temascal usando la carretera México-Guadalajara.

A partir de estos dos caminos troncales, existen rutas de tercer y cuarto orden, consistentes en brechas y caminos que conectan rancherías y pequeños poblados.



Figura 1.1. Rasgos Geomorfológicos del Poblado de Valle Luz, Municipio de San Miguel Totolapan, Guerrero

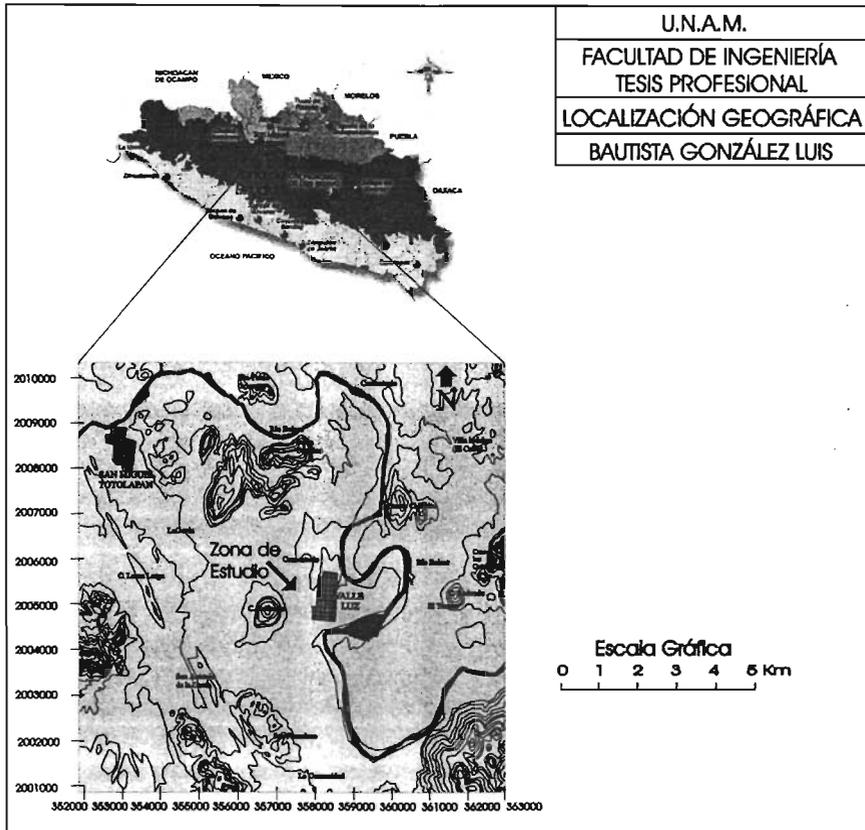


Figura 1.2. Localización de la Zona de Estudio, Poblado de Valle Luz, Municipio de San Miguel Totolapan, Guerrero

1.2.2. Orígenes

Aún cuando no existen fuentes confiables que nos señalen con exactitud la fecha en que se asentaron los primeros habitantes (cuitlatecas) en estas tierras; existen en cambio, testimonios culturales encontrados en la región y de acuerdo con Leonardo Manrique Castañeda, la lengua cuitlateca, ahora ya extinta se hablaba en una gran extensión del actual estado de Guerrero (los municipios de San Miguel Totolapan) sobre las márgenes del río Balsas, hace aproximadamente 1000 años D.C. lo que nos explica la antigüedad de los cuitlatecas en tierra Totolapense.

1.2.3. Economía

La economía dentro de la comunidad es precaria, existen numerosas rancherías con pequeña población ampliamente diseminada por las diferentes serranías, comunicándose una con otra mediante una extensa red de veredas o caminos de terracería; la mayoría de los habitantes hacen de la agricultura y ganadería su principal fuente de sustento económico. En la actualidad es posible observar que existen otras fuentes de ingreso en la comunidad, como por ejemplo el comercio con los pueblos cercanos y la migración de gente a los Estados Unidos de Norteamérica.

1.2.4. Cultura y Tradiciones

El corte de rosas en San Miguel Totolapan forma parte de sus más antiguas tradiciones, heredadas de sus antepasados cuiltlatecas; la cual los une y los congrega año con año, el 6 de septiembre. La fiesta del corte de rosas en San Miguel Totolapan, está enmarcada en el ciclo anual de festividades religiosas que los hijos de este pueblo han venido celebrando desde tiempos inmemoriales hasta nuestros días. Desde muy temprano los organizadores trazaban, en la "hujulera" los puestos donde se exhibirán las mercancías, así como las calles para que la gente transite cómodamente, y los comerciantes tienden sus puestos. Dicen que hace ya muchos años esta fiesta se hacía en las proximidades de San Antonio de la Gavia, en un lugar denominado "Las Parejitas" a donde concurrían los habitantes de las diferentes comunidades aledañas. Actualmente la fiesta se establece en un lugar conocido como "La Parota".

El 24 de diciembre se reunían los totolapenses en el atrio de la iglesia con el propósito de elegir al presidente municipal, quien debería tomar posición de su cargo el primero de enero; pero también ese mismo día comenzaba el ciclo religioso-pagano con la entrega de cuentas de sus cargos, los mayordomos y muchachos mayores a los nuevos encargados; así mismo, todos los asistentes hacían el arco de flores para la iglesia del santo patrón.

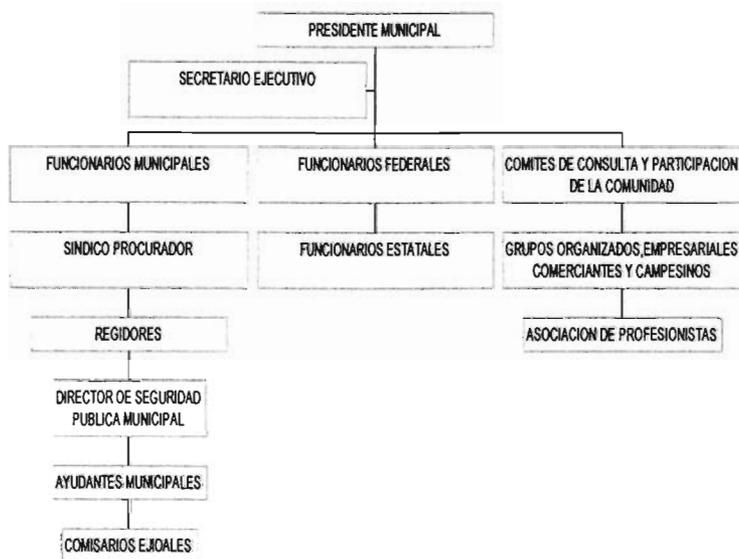
1.2.5. Vías de Comunicación

La principal vía de comunicación es el camino rural que une la localidad de Valle Luz con la cabecera municipal, con una longitud de 4 km. Además de contar con 7 km de brechas que van de Valle Luz a San Francisco y otras localidades aledañas. Por otro lado, la cabecera municipal tiene 53.3 km de vías de acceso, en donde la más sobresaliente es el camino rural Poliutla-San Miguel Totolapan, con una longitud de 17 km, existe la brecha de 20 km de San Miguel Totolapan-Santo Tomas.

1.2.6. Organización Política

En cuanto a organización política y autoridades civiles se refiere; en la localidad de Valle Luz la máxima autoridad jurídica es el comisario quien a su vez recibe ordenes inmediatas del C. Presidente Municipal, cabe señalar que la localidad de Valle Luz no cuenta con un sistema de seguridad pública propia, porque la policía municipal hace rondines en la comunidad durante el transcurso del día para salvaguardar la seguridad de los pobladores. También existe un cabildo, que está conformado por todos los comisarios de todas las poblaciones pertenecientes a la cabecera municipal.

En el cuadro siguiente se puede apreciar la organización política que prevalece en el municipio:



Cuadro. 1.1 Organización Política Municipal

1.2.7. Servicios Públicos

Respecto a educación, la localidad cuenta con la infraestructura necesaria, incluyendo el nivel medio superior, recientemente incorporada a la Universidad Autónoma de Guerrero, UAG. Además, cuenta con un centro de cómputo conectado vía satélite. En cuestión de salud se cuenta con la asistencia médica de la Secretaría de Salud que atiende aquellas enfermedades con mayor frecuencia como respiratorias, gastroenteritis, gastrointestinales, picaduras o mordedura por animales ponzoñosos y serpientes, entre otras.

Cuenta con dos casetas de telefonía rural, una cancha de fútbol y dos de básquetbol, en el río se realiza la pesca como actividad de sustento. Se tienen cinco camionetas de ruta que hacen el recorrido a la cabecera municipal y al interior de la localidad, con horario de 7:00 a.m. a 18:00 p.m.

CAPITULO 2. BASES GEOLÓGICAS, GEOFÍSICAS Y GEOGRÁFICAS PARA LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO

2.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

1. Recopilar la información climatológica, hidrológica, geológica, geofísica y topográfica, que sea de utilidad para el estudio geohidrológico a realizar. Para el efecto, se deben consultar las fuentes de información disponible. La información recopilada se debe ordenar, depurar y procesar para aplicarla al estudio.
2. Consultar los archivos de las estaciones climatológicas e hidrométricas de la SARH, CNA y CFE.
3. Elaborar un resumen de la información recopilada, así como una relación bibliográfica, que se incluya en el informe final del estudio.

El resumen debe incluir una síntesis y descripción que contemple los siguientes aspectos:

- a) La estratigrafía y geología regional.
- b) Unidades litoestratigráficas, desde el punto de vista hidrogeológico.
- c) La geología estructural, sedimentología, tectónica, geología histórica y su relación en la ocurrencia del agua subterránea.
- d) El mapa geológico regional.
- e) El mapa de localización de aprovechamientos hidráulicos.
- f) Una tabla con el resumen de las características principales de los pozos.
- g) Establecer un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero, como hipótesis para la elaboración del estudio.

Los principales parámetros geohidrológicos, indicando los valores obtenidos y la confiabilidad de los resultados. Se debe preparar una tabla que contenga los siguientes datos: nombre del estudio, año, si cuenta con estudio climatológico y geoquímico, fecha de mediciones piezométricas, número de sondeos eléctricos verticales realizados, resultados de balance geohidrológico y los siguientes parámetros geohidrológicos: T, S, K, b, N.E. y N.D.

- h) Ubicación de los estudios geofísicos realizados con anterioridad en la zona y sus resultados.
- i) Perfiles geológico-geofísicos de integración.
- j) Secciones geológicas estructurales.
- k) Geometría del acuífero.
- l) Características hidráulicas de las rocas.

2.2. ESTUDIOS GEOLÓGICOS

El estudio geológico se debe realizar mediante el análisis estereoscópico de fotografías aéreas verticales, escala 1:25,000 (o escala más próxima que exista en el mercado).

Si se tiene información geológica ya existente sobre el área de estudio se debe verificar la información de los levantamientos existentes.

Se debe indicar si se realiza la fotointerpretación o se limita a la verificación de la geología, de acuerdo a la calidad de información que exista sobre la zona.

En cualquiera de los casos, la geología se debe evaluar en planos topográficos, escala 1:50,000, basados en las cartas editadas por el INEGI.

El estudio geológico debe cubrir los siguientes aspectos:

- Definir las unidades litológicas y estratigráficas, de acuerdo a la "Código de Nomenclatura Estratigráfica".
- Definir las estructuras geológicas (pliegues, fallas, discordancias, fracturas y estratificación).
- Precisar las características del drenaje de las unidades litológicas o formaciones.

2.2.1. Verificación del Marco Geológico Superficial

Se deben efectuar recorridos de campo para cubrir de manera uniforme el área, a fin de verificar la información geológica, ya sea generada por medio de fotointerpretación o de cartografía existente, con énfasis en las características que influyen en la ocurrencia del agua en el subsuelo.

Se deben verificar en el campo las unidades litológicas identificadas y efectuar las correcciones u observaciones sobre las fotografías aéreas o cartografía existente y en registros de campo. Se deben comprobar los rasgos estructurales mayores que se interpretaron de las fotografías como:

- Fallamiento.
- Plegamiento.
- Ejes principales.
- Estratificación.
- Discordancias

Y levantar el mayor número de datos estructurales menores:

- Fracturas.
- Juntas.
- Diaclasas.
- Foliación.

Para describir las estructuras se debe incluir la siguiente información:

- Rumbo (azimut).
- Inclinación (echado).
- Relleno.
- Abertura.
- Espaciamiento.
- Continuidad.

Las estructuras estudiadas de las formaciones deben de ser referenciadas por medio de la "Descripción Cuantitativa de Discontinuidades, ISRM, (International Society for Rock Mechanics, 1974)", y el espaciamiento debe ser el adecuado para definir los cambios estructurales y litológicos.

Se debe medir el espesor de las unidades litoestratigráficas presentes en la zona y este espesor debe representarse en las secciones geológicas.

Concluido el mapa geológico, se deben elaborar secciones geológicas perpendiculares a la orientación de las estructuras regionales, apoyadas en los cortes litológicos de pozos profundos y en la exploración geofísica. La escala horizontal será de 1:50,000 y la vertical de 1:25,000 (las escalas propuestas en estos lineamientos pueden cambiar, de acuerdo a la extensión del área de estudio).

2.3. CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

Se deben de realizar los recorridos de campo que sean necesarios para localizar los aprovechamientos de agua subterránea: manantiales, pozos, norias, galerías y tajos, ubicándolos en un mosaico fotográfico a escala conveniente o en un plano seleccionado previamente para tal efecto. Asimismo se deben recabar datos respecto a las características constructivas y de operación de los aprovechamientos:

- Fecha de Perforación.
- Corte Litológico.
- Profundidad del Pozo.
- Diámetro de Perforación.
- Diámetro del Ademe.
- Diámetro de la Columna de Succión.
- Diámetro de la Descarga.
- Longitud y Ubicación del Cedazo.
- Régimen de Operación.
- Aforo Original.
- Tipo de Motor.
- Tipo de Bomba.
- Caudal de Operación.
- Nivel Estático.
- Nivel Dinámico.
- Fecha de Puesta en Servicio.
- Rehabilitaciones.
- Gastos.
- Dimensiones y profundidades.
- Usos.

El censo debe describir todos los aprovechamientos artificiales e incluir afloramientos naturales de agua subterránea (manantiales), independientemente de que se aprovechen o no, extendiéndose a los recursos de agua superficial.

Todos los aprovechamientos censados se deben identificar en el campo con un número, marcado claramente en un lugar visible.

En el caso de que exista un censo, los recorridos de campo deben enfocarse a realizar la verificación y actualización del mismo, respetando la numeración de dicho censo.

2.3.1. Observaciones Piezométricas

Una vez concluido el censo, o conforme este se realice, se deben seleccionar los pozos que, por su ubicación y características constructivas, sean adecuados para la observación periódica de los niveles piezométricos del o de los acuíferos.

Como parte del estudio geohidrológico, los recorridos de observación de niveles, deben incluir cuando menos uno al final de la época de estiaje y otro al final de la época de lluvias.

2.4. PRUEBAS DE BOMBEO

Durante la realización del censo de aprovechamiento se debe tomar en cuenta de aquellos pozos que presenten condiciones favorables para la ejecución de pruebas de bombeo; se seleccionan alumbramientos para realizar pruebas donde preferentemente se cuente con pozos de observación.

La selección de pozos para llevar a cabo las pruebas de bombeo se basa en la configuración piezométrica y se da preferencia a captaciones ubicadas en secciones donde sea importante cuantificar el caudal del acuífero subterráneo.

Antes de iniciar la prueba de bombeo, se debe revisar el equipo a utilizar (cronómetro, sonda, cinta métrica y escuadra para aforo).

Previo al inicio del bombeo, se debe medir la profundidad del N.E. en el pozo de bombeo y en el (los) de observación, se debe anotar la hora de inicio de la prueba y las lecturas iniciales, con el nombre de los pozos que correspondan.

Se debe realizar el bombeo procurando mantener un caudal constante y se procede a medir la profundidad del nivel del agua en el pozo de bombeo y en él (los) de observación, con la secuencia de tiempos que se indican a continuación:

LECTURA	TIEMPO A PARTIR DEL INICIO DEL BOMBEO
1	Antes de iniciar el bombeo
2	15 segundos
3	30 segundos
4	1 minuto
5	2 minutos
6	4 minutos
7	8 minutos
8	15 minutos
9	30 minutos
10	1 hora

Las lecturas posteriores se deben tomar a intervalos de una hora, hasta completar la totalidad de la prueba. Durante la prueba, a periodos seleccionados, se deben hacer las observaciones o lecturas necesarias para cuantificar el caudal de bombeo.

Una vez concluida la etapa de bombeo, se debe iniciar la recuperación, cuyas observaciones se deben efectuar en los tiempos indicados en la tabla anterior.

La duración de la prueba de bombeo queda sujeta a las condiciones hidrodinámicas del acuífero, la prueba se puede suspender cuando se observe una estabilidad del nivel del agua por un tiempo mínimo de 3 horas, en el caso de una prueba de corta duración. Si se dispone de pozo(s) de observación, se deben realizar pruebas de larga duración (72 horas o más, en cada una de las etapas).

Con las lecturas obtenidas, se debe dibujar, en el sitio la gráfica de abatimiento vs tiempo, a fin de juzgar el correcto desarrollo de la prueba.

Los tiempos indicados previamente son sólo una guía de la frecuencia con que se deben realizar las observaciones, si por cualquier causa no se puede obtener la lectura del nivel del agua en los tiempos señalados, se debe tomar la medida e indicar el tiempo al que corresponda.

2.5. MUESTREO Y ANÁLISIS

2.5.1. *Parámetros Físico-Químicos*

A partir de la información obtenida durante el censo y con la localización de pozos, se deben seleccionar las captaciones en las que se tomen las muestras de agua subterránea. Si se considera de utilidad para el estudio hidrogeoquímico, también se puede muestrear el agua superficial en presas, ríos, canales y drenes.

Los análisis físico-químicos de agua, se deben realizar de acuerdo a lo establecido en las **normas oficiales mexicanas** vigentes.

Las muestras se deben conservar en recipientes totalmente lavados y esterilizados antes de su captación; posteriormente se deben lavar y enjuagar con agua de la misma fuente por muestrear, el volumen mínimo de muestra requerido para análisis químico completo es de un litro, el recipiente debe quedar totalmente lleno y herméticamente cerrado, rodeando el tapón con algún elemento sellante, como cera, cinta de teflón u otra semejante.

La muestra se debe tomar después de un tiempo mínimo de operación de una hora, tiempo necesario para que la muestra sea realmente representativa del agua que fluye por el acuífero.

A continuación se muestran los pasos a seguir en la toma de muestras:

- Temperatura.
- Conductividad eléctrica.
- Oxígeno libre.
- pH (con potenciómetro).

Y anotar estos datos en el recipiente, junto con la fecha y la información necesaria para su identificación.

El análisis físico-químico debe incluir las siguientes determinaciones:

Análisis Físico:

- Olor.
- Turbiedad.
- Color real.
- Color aparente.

Análisis Químico:

- Sólidos totales.
- Alcalinidad.
- Dureza total.
- Dureza de calcio.
- Dureza de magnesio.
- Acidez.
- Sodio.
- Potasio.
- Calcio.
- Magnesio.
- Hidróxidos.
- Demanda biológica de oxígeno DBO.
- Demanda química de oxígeno DQO.
- Cloruros.
- Sulfatos.
- Carbonatos.
- Bicarbonatos.
- Nitratos.
- Nitrógeno amoniacal.
- Nitrógeno de nitratos.
- Nitrógeno orgánico.

2.5.2. Análisis de Parámetros Especiales

De la muestra de agua subterránea recolectada en el área de estudio, se debe seleccionar el 15% para realizar análisis químicos de los siguientes parámetros especiales:

- Cromo.
- Zinc.
- Cobre.

- Plomo.
- Sílice.
- Flúor.
- Manganeso.
- Boro.
- Cadmio.
- Mercurio.
- Arsénico.
- Hierro.
- Detergentes.

En el caso que en las muestras analizadas se detecte la presencia de estos elementos, será necesario programar más análisis químicos al respecto.

2.5.3. Análisis Isotópicos

El deuterio, tritio, oxígeno 18 y carbono 14, son los isótopos que se usan en estudios geohidrológicos para estimar el tiempo de permanencia del agua en el acuífero y para sugerir el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.

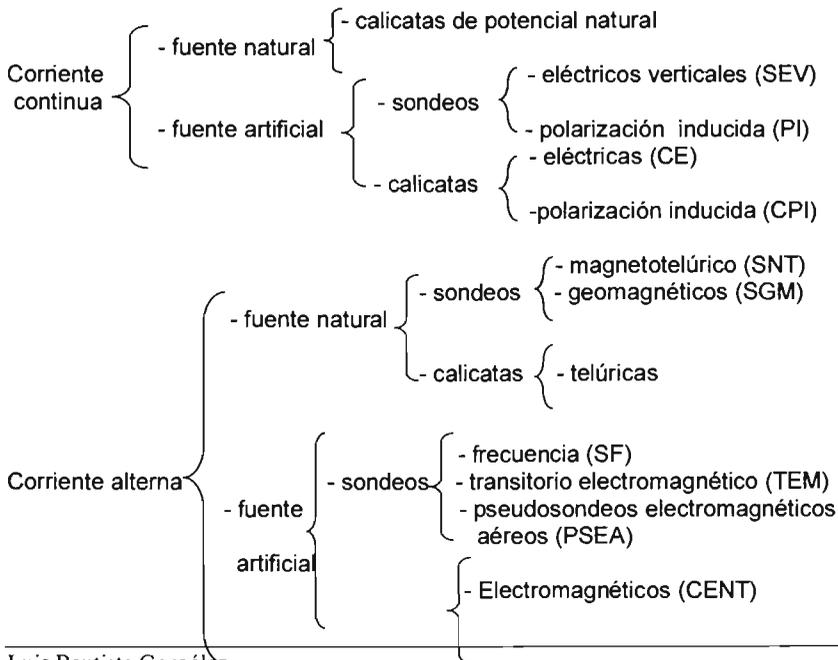
Las muestras se deben tomar, de preferencia, en pozos que se conozca su diseño de terminación, con el fin de tener la certeza de que el agua pertenece al acuífero en estudio.

2.5.4. Análisis Bacteriológicos

Con un frasco esterilizado de aproximadamente 125 ml de capacidad (puede ser de vidrio o plástico resistente al calor), se le añade 0.1 ml de solución de sulfato de sodio al 10%, con el fin de contrarrestar la acción del cloro que pueda contener el agua y realizar el análisis antes de 6 horas.

2.6. ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS

Los métodos geoelectrónicos se dividen principalmente en dos grupos: los que usan corriente directa y los que emplean corriente alterna; estos grupos, a su vez, pueden subdividirse en: los que utilizan las corrientes que existen normalmente en la naturaleza (fuente natural) y los que emplean corrientes creadas artificialmente (fuente artificial). En cada una de ambas subdivisiones caben dos tipos de métodos: los que se utilizan para medir variaciones de resistividad con respecto a la profundidad y los empleados para medir cambios de resistividad en el sentido horizontal; a los primeros se les conoce como **sondeos**, a los segundos como **calicatas**. A continuación se presentan agrupados:



- calicatas - electromagnéticos aéreos (CEMA)

2.6.1. Métodos de Corriente Continua

Los métodos de corriente continua se dividen en dos: los que se usan como fuente las corrientes naturales que circulan en la corteza terrestre y los que requieren fuentes artificiales de corrientes introducidas en el subsuelo. Del primer tipo existe solo el método de potencial espontáneo, utilizado en la exploración geohidrológica únicamente en los registros geofísicos de pozos.

En la exploración geohidrológica superficial, los potenciales naturales o espontáneos producidos por corrientes eléctricas naturales que existen en la corteza terrestre se toman como señales no deseadas (ruido) y por lo tanto se eliminan.

Los métodos eléctricos de corriente continua con fuente artificial son los sondeos que miden la variación vertical y las calicatas que cuantifican variaciones horizontales, estos se enfocan a la detección de dos propiedades de los materiales del subsuelo; la resistividad eléctrica (sondeos y calicatas eléctricas) y la cargabilidad (sondeos y calicatas de polarización inducida).

2.6.2. Sondeo Eléctrico Vertical y Polarización Inducida

Los sondeos eléctricos verticales (SEV), y los sondeos de polarización inducida (PI) se realizan en campo de la misma forma: mediante cuatro electrodos, separados a una cierta distancia; con dos de ellos se miden variaciones de potencial eléctrico originados en el terreno por la corriente inyectada a través de los otros dos electrodos.

Como el volumen involucrado del terreno depende de la separación entre los electrodos, mientras más distancia exista entre ellos, mayor será la profundidad de penetración de exploración en el terreno de estudio, si se realizan varias mediciones incrementando gradualmente la distancia entre los electrodos de corriente, se profundiza la investigación de la resistividad eléctrica del subsuelo, suponiendo que el terreno es homogéneo en el plano horizontal y que la resistividad o la cargabilidad solo varían en el sentido vertical.

2.6.3. Calicatas

El segundo tipo se conoce como CALICATAS, y aunque esencialmente es el mismo tipo de medición, la forma en la que se realiza el trabajo permite conocer principalmente la distribución espacial, de las variaciones, de la resistividad eléctrica (CE) o de la polarización inducida (PI) a lo largo de la línea que se está levantando, manteniendo casi constantemente la profundidad de investigación.

Las calicatas consisten principalmente en mantener fijas las distancias entre los electrodos de corriente y de potencial, de tal manera que en principio se mantiene la profundidad de investigación; después de que se hace la lectura en un sitio, el arreglo de electrodos, el arreglo de electrodos se mueve como todo para hacer la medición en el próximo sitio (que normalmente está sobre una línea fijada previamente); se repite el proceso en los puntos subsiguientes hasta completar el perfil que se desea investigar; el resultado es por tanto una serie de valores de resistividad aparente que nos muestra la variación de ésta a lo largo de un perfil para una profundidad relativamente constante, con la distancia entre los electrodos.

2.6.4. Métodos de Corriente Alterna

Cuando se emplean los métodos geoelectricos en la exploración geohidrológica, es importante recalcar que la propiedad que se está midiendo del subsuelo es la resistividad, donde los contrastes en la resistividad específica de las rocas, que constituyen el subsuelo permiten el levantamiento electromagnético en la superficie y relacionar sus resultados con estructuras geoelectricas situadas en la profundidad, la cual es calculada basándonos en los principios básicos de la teoría electromagnética, descrita en su forma más general en las ecuaciones de Maxwell, que utiliza las propiedades de los campos electromagnéticos generados al utilizar corriente alterna.

Los métodos de corriente alterna presentan las cuatro modalidades que se pueden formar con la utilización de las fuentes naturales o artificiales, y su aplicación en forma de sondeos o calicatas.

2.6.4.1. Fuente Natural

De los métodos que emplean fuente natural, el único que en la actualidad ha sido utilizado en la exploración geohidrológica es el sondeo magnetotelúrico (MT), éste método consiste en medir las variaciones de los campos eléctrico y magnético, en dos direcciones perpendiculares por el campo eléctrico y en tres direcciones para el campo magnético. Si se hacen mediciones del campo eléctrico (Ex) en la dirección X, del campo magnético (Hy) en la dirección Y, obtenemos la impedancia.

Donde:

Zxy=Impedancia

E_x =Componente x del campo eléctrico

H_y =Componente y del campo magnético

Aunque los valores de las variaciones de las componentes de los campos se miden respecto al tiempo, siempre es posible conocer mediante un algoritmo matemático conocido como transformada de Fourier las variaciones con respecto a la frecuencia; a continuación se aplica la relación desarrollada por Cagniard(1953):

$$|Z| = 2\pi \left(\frac{\rho}{5T} \right)^{1/2} \times 10^{-3}$$

donde:

Z = impedancia

π = 3.14159....

ρ = Resistividad

T = Periodo de la señal =1/frecuencia

Partiendo de ésta ecuación podemos obtener la resistividad.

2.6.4.2. Fuente Artificial

Cuando se utiliza corriente alterna producida artificialmente se pueden concebir dos tipos de sondeos, que permiten definir la distribución de la resistividad respecto a la profundidad en el subsuelo.

2.6.4.3. Sondeo por Frecuencia

El sondeo por frecuencia (SF) aprovecha el que la profundidad de penetración de las ondas (Skin depth, o penetración nominal) en el subsuelo depende principalmente de la frecuencia de la onda y de la resistividad de las capas más superficiales, por lo que si se varía la frecuencia de la señal emitida y se mide la resistividad aparente para cada frecuencia de emisión se obtiene una curva de variación similar a la que proporcionan los SEV que pueden ser interpretada en términos de un modelo de subsuelo estratificado horizontalmente .

2.6.4.4. Sondeo por Transitorio Electromagnético TEM

Los sondeos por el método de transitorio electromagnético (TEM) generan una componente del campo electromagnético (usualmente la componente vertical), induciendo por ello la creación de corriente en el subsuelo; estas a su vez, generan un campo magnético secundario susceptible de ser medido. El principio básico del método consiste en medir el campo secundario inmediatamente

después de apagar el equipo emisor, ya que en ese momento desaparece el campo primario y sólo queda el secundario, que va decayendo gradualmente de manera tal que pueda extraer información sobre la resistividad del subsuelo. La curva de decaimiento del campo secundario es normalizada de manera similar a las curvas en otro tipo de sondeo de corriente alterna, obteniéndose una presentación de resistividad aparente contra tiempo, que también puede ser interpretada como las curvas de la SEV.

2.6.4.5. Calicatas Electromagnéticas

Otro de los métodos que utilizan corriente alterna son las calicatas electromagnéticas, que se basan en los mismos principios físicos que los sondeos y permiten investigar las variaciones de la resistividad en el subsuelo en el sentido horizontal; su principal utilidad consiste en descubrir cuerpos conductores aislados o variaciones laterales abruptas de la resistividad debida a estructuras geológicas de interés.

Las calicatas pueden realizarse con una gran variedad de equipos, de los cuales los más conocidos son el turam, el silingram, el VLF y los equipos electromagnéticos aerotransportados, que permiten realizar el mismo trabajo que en tierra pero con una gran rapidez y en grandes volúmenes; prácticamente todos los levantamientos llevados a cabo con este método se interpretan en términos de modelos de laboratorio, con lo que se ha logrado obtener un gran número de curvas para interpretación y conjunto de las denominadas curvas características. Estas curvas características son creadas a partir de ciertas singularidades de las curvas de interpretación de los modelos de laboratorio como pueden ser la amplitud relativa entre los máximos y los mínimos, la distancia horizontal entre ellos, la pendiente máxima, etc. Con dos o más de estas propiedades se forman diagramas de tal manera que cuando se obtiene una curva de campo se le miden esas mismas características; con ellas se ubica un punto que define aproximadamente los parámetros del modelo que se está usando para la interpretación, bajo el supuesto de que estos modelos representan aproximadamente lo que se busca en el subsuelo.

CAPITULO 3. ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO

3.1. GEOLOGÍA

3.1.1. *Fisiografía*

Provincia de la Sierra Madre del Sur

Esta provincia limita al norte con la del Eje Neovolcánico, al este con la Llanura Costera del Golfo Sur, las Sierras de Chiapas y la Llanura Costera Centroamericana del Pacífico, y al sur con el Océano Pacífico. Abarca parte de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Veracruz y todo el estado de Guerrero. Está considerada como la más completa y menos conocida del país, y debe muchos de sus rasgos particulares a su relación con la placa de cocos. Esta es una de las placas móviles que integran la litósfera o corteza exterior terrestre; emerge a la superficie del fondo del Océano Pacífico al suroeste y oeste de las costas, hacia las que se desplaza lentamente dos o tres centímetros al año para encontrar a lo largo de las mismas el sitio llamado "de subducción" donde buza nuevamente hacia el interior de la Tierra. A ello se debe la fuerte sismicidad que se manifiesta en esta provincia, en particular sobre las costas guerrerenses y oaxaquenses, siendo la trinchera de Acapulco una de las zonas más activas. Esta relación es la que seguramente ha determinado que alguno de los principales ejes estructurales de la provincia -depresión del Balsas cordilleras costeras, línea de costa, etc.- tengan estricta orientación este-oeste, condición que tiene importantes antecedentes en la provincia del Eje Neovolcánico, y que contrasta con la predominante orientación estructural noroeste-sureste del norte del país. La provincia tiene una litología muy completa en la que las rocas intrusivas cristalinas, especialmente los granitos y las metamórficas, tienen más importancia que en la mayoría de las provincias del norte. Los climas subhúmedos, cálidos y semicálidos imperan en gran parte de la provincia, pero en ciertas regiones elevadas, incluyendo algunas con extensos terrenos planos como los Valles Centrales de Oaxaca, los climas son semisecos, templados y semifríos, en tanto que al oriente, en los límites con la Llanura Costera del Golfo Sur, hay importantes áreas montañosas húmedas cálidas y semicálidas. La vegetación que predomina en la depresión del Balsas en las regiones surorientales de la provincia es la selva baja caducifolia, los bosques de encinos y de coníferas ocupan las zonas más elevadas, y la selva mediana subcaducifolia, se extiende sobre toda la franja costera del sur. Aparte de esta vegetación hay en la provincia una de las comunidades florísticas más ricas del mundo. La región manifiesta, además, un alto grado de endemismo (riqueza en especies exclusivas del lugar).

En la provincia, el sistema fluvial más grande es el Tepalcatepetl; otro importante, es el río Balsas, uno de los siete mayores del país. En el extremo oriente nacen importantes afluentes del Papaloapan y del Tehuantepec. Sobre la vertiente sur de la provincia desciende un buen número de ríos cortos del Océano Pacífico. Pocos

de ellos, como el Armería, el Coahuayana y el Papagayo nacen al norte de la divisoria de la sierra costera y el Atoyac baja desde el Valle Central de Oaxaca.

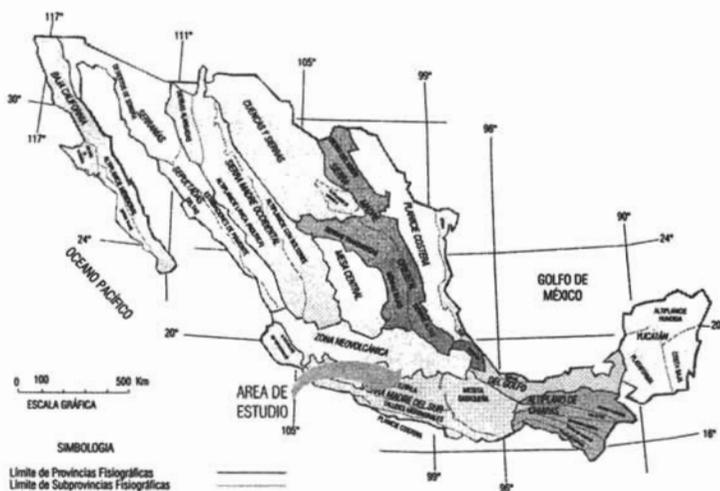


Figura 3.1. Provincias Fisiográficas de Raisz

3.1.2. Geomorfología

Las estructuras que se observan en el relieve fueron producidas por movimientos diastróficos correlacionables con la Orogenia Laramide de fines de Cretácico Tardío y principios de Terciario.

Actualmente el área se encuentra en una etapa de madurez, en la que debido a las diferencias de altitud se presentan de manera general los dos ciclos geomorfológicos, el de clima húmedo y el característico de regiones áridas. Las características morfológicas son de gran importancia ya que deben considerarse en la determinación de los parámetros que controlan el flujo de las aguas superficiales y subterráneas de una región. Dentro de la zona estudiada se distinguen dos elementos geomorfológicos principales (Figura 4).

Uno de estos corresponde con las lomas y planicies, las cuales tienden a manifestarse hacia la porción central del área, quedando comprendidas entre los cerros aislados (C) en la parte norte y por las sierras ubicadas hacia los sectores

oriental y meridional del sector estudiado (S), en donde estas últimas unidades orográficas constituyen el segundo elemento geomorfológico.



Figura 3.2. Elementos Geomorfológicos del Área de Estudio.

3.1.3. Geología Regional

En el estado de Guerrero se han reconocido rocas de todas las edades que abarcan desde el paleozoico hasta el cuaternario. Tomando en consideración los estudios estratigráficos regionales de Arcelia Guerrero y Huetamo Michoacán, se ha intentado correlacionar el área de estudio correspondiente a San Miguel Totolapan Guerrero (Zoltan de Cserna, 1978).

Los efectos tectónicos de la orogenia Larámide se muestran en los sedimentos, los cuales han sido afectados por intensos plegamientos, fallamientos y metamorfismo regional de diferentes grados (Cserna y Fries, 1981).

Debido a que no existen trabajos geológicos con anterioridad al presente estudio de tesis y no siendo tampoco uno de los objetivos del mismo, la distribución de las unidades estratigráficas del área de estudio se adaptaron de la descripción elaborada por Zoltan de Cserna y con base en lo recorridos de campo para reconocer la geología superficial de esta zona, lo cual permitió correlacionar las

unidades litológicas del mapa geológico de la Hoja Tejupilco, Estado de Guerrero, con las existentes en la zona de Valle Luz.

3.2 ESTRATIGRAFÍA

3.2.1. Roca Verde Taxco Viejo

Dentro de la región de la Hoja Tejupilco, la Roca Verde Taxco Viejo (Fries, 1960, p. 35; de Cserna y Fries, 1981, p. 14) aflora solamente en su cuadrante suroriental en ambos flancos del Levantamiento de Tejupilco. Descansa sobre el Esquisto Taxco que sobreyacen de la Formación Acuitlapán. La Roca verde Taxco Viejo está formada por derrames de lava andesíticas y/o andesítico basáltico de color gris mediano, con distintas tonalidades de verde, debido a la presencia de clorita y epidota, la roca también presenta minúsculos cristales de pirita en forma diseminada que se considera, junto con los minerales antes mencionados, además de las lavas, esta unidad contiene también intervalos formados por tobas y lahares de la misma composición de las lavas.

Con base en las relaciones que tiene esta unidad estratigráfica con las unidades sub y suprayacentes, se considera del Triásico Superior y quizás del Jurásico Inferior, esta unidad posee una foliación secundaria incipiente.

3.2.2. Formación Acuitlapán

La secuencia de lutitas, grauvacas, areniscas, conglomerados y escasas calizas que sobreyace discordantemente al esquisto Taxco o a la Rocaverde Taxco Viejo y que está cubierta aparentemente por la Formación Amatepec, fue cartografiada como la Formación Acuitlapán (Fries, 1960, p. 38; de Cserna y Fries, 1981, p. 16). Esta formación aflora en ambos flancos del Levantamiento de Tejupilco, salvo a dos tramos relativamente cortos en la parte septentrional del flanco occidental, donde debido a la presencia de dos cabalgaduras de décollement (las dos podrían ser una sola ζ), esta Formación está debajo de la cobijadura constituida por la Formación Amatepec.

En algunos sitios de la Formación Acuitlapán se puede observar la discordancia sobre el Esquisto Taxco, el cual está cubierto de areniscas conglomeráticas y lutitas gris oscuras interestratificadas con calizas arenosas y arcillosas oscuras; la cima de esta Formación es transicional y aparentemente corcondante con la Formación Amatepec y está formada por lutitas o pizarras filíticas de color gris oscuro a gris verdoso, las cuales están cubiertas por calizas arcillosas de la Formación Amatepec.

Con base en el estudio de la Hoja Tejupilco, por su posición estratigráfica encima de la Roca verde Taxco Viejo y debajo de la Formación Amatepec dentro de la región de esta Hoja, y por ocupar la misma posición estratigráfica en la región de

la Hoja Taxco (de Cserna y Fries, 1981, p. 16) en donde es del Jurásico Superior (Titaniano)- Cretácico Inferior (Neocomiano-Aptiano).

3.2.3. Formación Amatepec

Así se define formalmente a la secuencia de calizas que afloran en la parte septentrional de la cuenca hidrográfica del Río Balsas y que tiene sus mejores afloramientos a lo largo del flanco occidental del Levantamiento de Tejupilco y una de las cuyas prominencias la forma la Sierra de Amatepec. La mayor parte de esta Formación consiste de micrita pelágica laminada en estratos delgados a medianos; se presentan, sin embargo, algunos intervalos de estratos gruesos, sobre todo en la parte meridional de su área de afloramiento. Las micritas varían en color de gris oscuro a casi negro y a menudo contienen lentes de pedernal negro, interestratificadas con las micritas se presentan también calcarenitas finas de color gris claro, las cuales también poseen laminación y estratificación delgada. Entre los estratos de caliza se presentan intervalos delgados a medianos de lutita de color gris oscuro y crema claro, la cual al intemperizarse adquiere tonalidad café y café rojiza, indicando su contenido de hierro. Se observan horizontes de calizas y lutitas en esta Formación con pirita de grano fino diseminada.

El contacto superior de la Formación Amatepec con la Formación Xochipala sobreyacente es aparentemente concordante y abrupto y está marcado por los primeros depósitos volcánicos marinos de esta última Formación, que pueden estar constituidos por rocas volcanoclásticas o derrames de lava.

El control actual cronoestratigráfico de la Formación Amatepec se basa en unos cuantos fragmentos de microfósiles y unos microfósiles que son indicativos de una edad Albiana.

3.2.4. Formación Xochipala

La Formación Xochipala (de Cserna et al., 1978, p. 12) sobreyace en forma aparentemente concordante a la Formación Amatepec, la Formación Xochipala se presenta con tres unidades, el miembro inferior de esta Formación consiste de rocas volcánicas andesíticas y andesítico-basálticas algo cloritizadas que se presentan como derrames de lava, junto con los derrames se presentan también depósitos volcanoclásticos en forma de conglomerados, areniscas, tobas y grauacas, el contacto superior puede cubrir indistintamente lavas o rocas volcanoclásticas, el miembro superior de la Formación Xochipala consta de calizas laminadas de color café-amarillento, el rasgo distintivo de estas calizas es el color más claro que el de las de la Formación Amatepec.

Con base en su posición estratigráfica encima de la Formación Amatepec y en los indicios, no obstante muy débiles, micropaleontológicos, se considera a la Formación Xochipala en la región de la Hoja Tehupilco del Cenomaniano superior-Turoniano.

3.2.5. Formación Arcelia (Formación Mal Paso)

Esta unidad estratigráfica fueron mencionadas en un artículo por el autor (de Cserna, 1978) como Formación Mal Paso que fue Definida por Pantoja-Alor (1959) en la región de Huetamo, Michoacán.

La Formación Arcelia aflora a la mitad occidental de la Hoja Tejupilco y constituye la unidad estratigráfica mesozoica marina más reciente de la región. Su contacto inferior con la Formación Xochipala subyacente es aparentemente concordante y se marca donde las primeras lutitas negras interestratificadas con rocas volcánicas de la Formación Xochipala.

Ésta Formación está constituida por lutitas negras muy silíceas, interestratificadas con limonita y grauvaca, y con algunos intervalos de caliza impura de color gris mediano a oscuro en la mitad inferior de la Formación, la cual se presenta en estratos delgados a mediano, contiene abundante material volcánico en forma de derrames de lava andesítica y andesítico-basáltico, muy similar a los de la parte inferior de la Formación Xochipala, tobas y hasta pequeños cueros de lahares.

La Formación Arcelia por ser una unidad estratigráfica marina sedimentaria y volcánica en secuencia aparentemente concordante con la Formación Xochipala y cubierta discordantemente por la Formación Balsas se le considera de edad Coniaciana (Ortega-Gutiérrez, 1980, p. 34-37; de Cserna y Fries, 1981, p. 21-22).

3.2.6. Formación Balsas

Fries (1960, pág. 91) propuso formalmente este nombre para un conjunto de rocas que varían ampliamente en sus características litológicas y en sus espesores, cuyos afloramientos se encuentran en la cuenca del Balsas Mexcala.

Los fragmentos contenidos en el Grupo Balsas, permiten establecer que las rocas madres son calizas de la Formación Morelos, además de lutitas, areniscas y algunas calizas de la Formación San Lucas, considerando los fragmentos volcánicos, tobas, las lavas interestratificadas y demás piroclásticos que se presentan en este grupo, se puede deducir que durante algunas épocas de su depósito, hubo actividad volcánica.

El Grupo Balsas aflora en muchos lugares de la región de la cuenca hidrológica del Balsas, una de las mayores áreas de afloramiento se extiende en la amplia depresión del perímetro de Iguala. Otra área importante de afloramiento aparece en Taxco, donde se extiende al noreste (Edwards, 1955, p. 137-179).

El contacto superior del Grupo Balsas, se encuentra marcado por las primeras apariciones de derrames lávicos. Al suroeste de Chumbitaro rocas volcánicas de la Serie Characharando sobreyacen al Grupo Balsas. En la población de Arcelia y muy cerca de la Boquilla de Palos Altos afloran las rocas del Grupo Balsas que

con frecuencia se ven intrusionadas por cuerpos hipabisales de tipo diorítico. El Grupo Balsas se depositó sobre las formaciones cretácicas preexistentes, las cuales se encontraban ya muy erosionadas. Descansa con gran discordancia angular y erosional sobre la Formación Morelos y principalmente sobre la Formación Mexcala.

La edad del Grupo Balsas no se ha podido determinar con precisión, debido principalmente a que no se han encontrado fósiles en él. Fries (1960, pág. 98) le asigna una edad que va desde el Eoceno tardío al Oligoceno Medio (Cenozoico-Terciario), basándose para ello, entre otras evidencias, en estudios radiométricos del zircón extraído de la Riolita Tilzapetia, unidad que le suprayace en el Estado de Morelos y en parte del Estado de Guerrero.

3.2.7. Depósitos Recientes

Se agruparon dentro esta nomenclatura a dos tipos de materiales recientes; depósitos de talud y aluviales.

Estos se componen de fragmentos de rocas que se derivan de rocas preexistentes que conforman la parte topográficamente más altas. Generalmente sobre éstos se desarrollan terrenos de cultivo. Su espesor se estima en mayor a los 50 m y se encuentran cubriendo discordantemente a las rocas preexistentes.

3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona en estudios se caracteriza porque en ella se han registrado grandes movimientos orogénicos producidos por la Revolución Laramide en cuya respuesta las rocas se plegaron fracturaron y se afallaron. Los principales rasgos estructurales que sobresalen son los pliegues producidos en las rocas cretácicas y más antiguas. "La edad del plegamiento principal en la región no puede determinarse dentro de límites estrechos únicamente a la base de la evidencia de campo local. Obviamente es más joven que la Formación Mexcala, por no ser reciente al Santoniano o el Campaniano, y es más antigua que el Grupo Balsas, cuya parte basal, se deduce que pertenece al Eoceno tardío" (Fries, 1960).

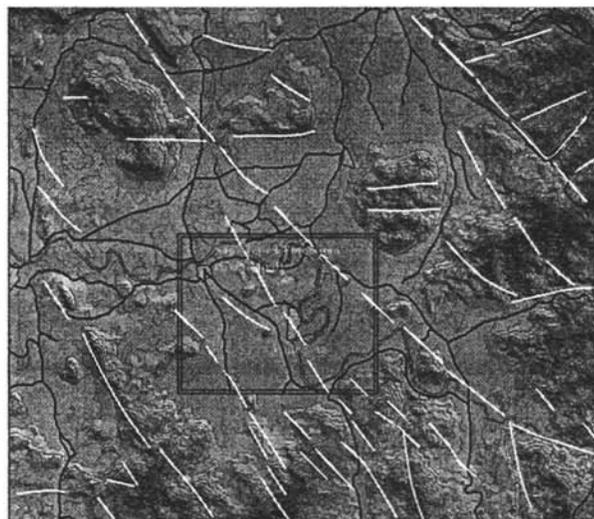


Figura 3.3. Principales Lineamientos Observados en el Modelo de Elevación del Terreno.

Otros rasgos importantes son las fallas posteriores, algunas de edad pleistocénica tardía y reciente, pero el evento estructural sobresaliente es la profunda fractura de la corteza definida por la Cordillera Neovolcánica Mexicana.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

En el estudio geológico en la zona que comprendió de un área de 9 por 9 km se observaron diferentes paquetes litológicos, que constituye a dos formaciones especialmente, el primero pertenece a la Formación Balsas en donde se pueden encontrar tobas y depósitos volcánoclasticos, y de un conglomerado rojo que subyace a estos depósitos. El segundo es, la Formación Amatepec que comprende de lutitas, areniscas calcáreas y de calizas y calizas recristalizadas. Que a continuación se describirán.

3.4.1. Descripción Litológica

Rocas volcánicas. Representadas por flujos de ignimbritas, que afloran en las afueras de la cabecera municipal y subyacen a los materiales conglomeráticos del grupo Balsas, los flujos ignimbriticos son de color grisáceo y rojizo, (esta última se debe a la influencia que tiene el conglomerado con la toba), y presenta como minerales principales cuarzo, feldespatos, vidrio. Los espesores son variados

desde 5 m a 25 m. Presenta estratificación bien definida, cuya orientación es al NW60°/20°E y contiene una gran densidad en fracturas con una orientación predominante NW40°/SE en la zona conocida por el poblado como "Agua Hedionda y Agua del Pájaro".



Figura 3.4. Ignimbrita.



Figura 3.5. Toba.

Conglomerado rojo. Es un paquete de unos 200 m de espesor constituido por clastos heterométrico, desde arcilla hasta cantos de 1.5 m de diámetro y de una composición poligmítica donde se pueden observar e identifican en la parte oeste de Loma Larga, en las faldas del Cerro Redondo, en el parteaguas que se forma entre los poblados de San Francisco y la Comunidad y a lo que los habitantes del lugar le llaman "el agua del pájaro", hacia el este, en el Río Balsas se pudo observar un conglomerado y la calcarenita muy compacto de color verde, que aflora en la ribera del cauce del río, se presenta en apariencia esquistosa debido al intenso fracturamiento que la afecta.



Figura 3.6. Conglomerado Rojo.

Calcarenitas. Presentan una coloración parda al intemperie y un poco grisácea al fresco, tiene una densidad baja, su textura es clástica con poca efervescencia y se encontró en la cima de Loma Larga suprayaciendo a las calizas. Estas calcarenitas también se pudo observar un poco en el Cerro Redondo, en el poblado de San Francisco y un poco en la Comunidad y las margenes del Río Balsas.



Figura 3.7. Calcarenistas.

Calizas. Se ubicaron al SE del "Agua del Pájaro" sobre el cauce del drenaje pluvial. Ésta roca presenta una coloración de gris a café grisasea a la intemperie y un poco más gris al fresco. Se clasifica como una caliza tipo packstone (clasificación Dunham) sin presencia de material fosilífero, se encuentran subyaciendo a las calcarenitas y presenta una estratificación bien definida con dirección NE 10°/10 °W.



Figura 3.8. Caliza y Caliza Recristalizada.

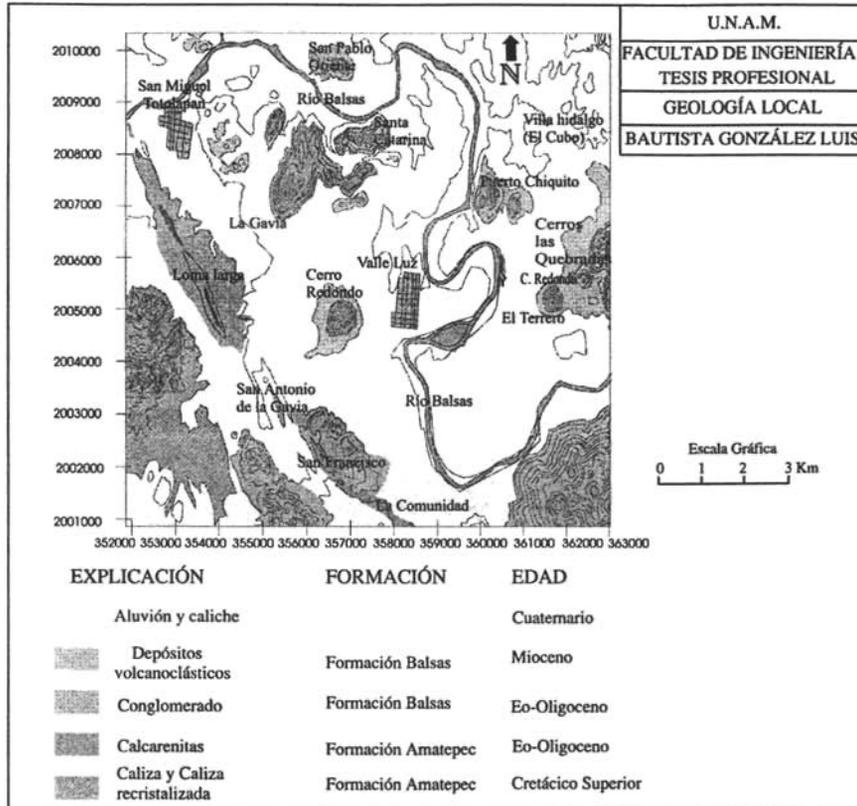


Figura 3.9. Geología Local de San Miguel Totolapan.

3.5. GEOHIDROLOGÍA

3.5.1 *Análisis del Censo de Aprovechamientos y Contaminación*

Durante el recorrido de campo se visitaron las captaciones que se localizan en la población Valle Luz, que consisten de norias que varían entre 10 y 25 m de profundidad y niveles estáticos variables desde los 3 hasta 22 m de profundidad.

Estas captaciones aprovechan principalmente la saturación de agua subterránea que aporta lateralmente el Río Balsas y que en época de estiaje disminuye considerablemente, llegándose a secar algunas de ellas y recargándose nuevamente en época de lluvias.

Pero la captación principal proviene de los cuerpos montañosos de los alrededores de Valle Luz, como la Barranca el Cajón, Cerro el Chicharrero, Cerro el Salto, Cerro Pedrillo, Cerro el Gavilán y de San Marcos, ya que mediante el reconocimiento del lugar determinamos la posibilidad de que la lluvia que se infiltra sobre los materiales conglomeráticos y tobáceos que suministran de agua a Valle Luz.

En la zona de estudio se localizó un pozo de 68 m de profundidad de propiedad particular (figura 12), que se localiza en el poblado de San Miguel Totolapan, que es utilizado para la comercialización de agua potable mediante procesos de filtración, este aprovechamiento cuenta con ademe de PVC de 14" de diámetro, su nivel estático es de 13.15 m, pH de 7.0 y temperatura de 31.5 °C, considerándose dentro de los parámetros permisibles por las normas que regulan las características físico-químicas del agua para consumo humano.

En el poblado de Valle Luz se localizó un pozo de 33 m de profundidad de propiedad particular (figura 13), que es utilizado para el sistema de riego de los cultivos del particular y para el sistema de riego de un invernadero de la comunidad de Valle Luz, su nivel estático es de 2.5 m.

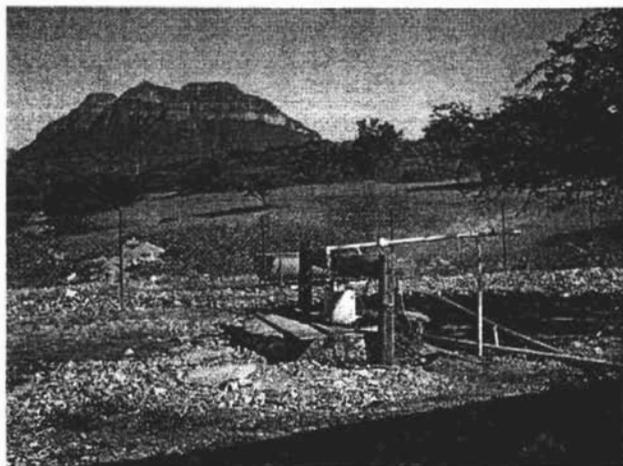


Figura 3.10. Pozo de uso potable de la Planta Purificadora



Figura 3.11. Pozo de Uso Para Riego.

En la Población de Valle Luz, el hecho de extraer el agua de una capa tan superficial por medio de norias como lo es en la zona de estudio, trae como consecuencia la contaminación de la misma, debido a que en la población no se cuenta con drenaje, ya que la descarga de agua utilizada para la limpieza de cada casa se tira directamente a la calle, esto último aunado a la utilización de fosas

sépticas ocasiona la infiltración de la misma al subsuelo con la consecuente contaminación de las norias, resultando riesgoso para la salud de los habitantes.

Es por ello que se requiere de una captación profunda con especificaciones técnicas apropiadas para abasto de agua potable que la población requiere y que garantice el abasto suficiente en toda época del año.

El comportamiento del agua subterránea, no es uniforme dependiendo primeramente de la unidad geohidrológica y de la profundidad del pozo(noria), como se verá a continuación la profundidad de los niveles estáticos.

3.5.2. Medición de los Niveles Estáticos

Se efectuaron mediciones de la profundidad del nivel del agua en algunas las norias (pozos) existentes en la localidad de Valle Luz, para obtener la configuración potenciométrica en la zona. Para ello se trazaron cuatro líneas de recorridos, orientadas de Este a Oeste, en el poblado. Esta medición se realizó a través de una sonda eléctrica, graduada cada 100cm.

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

UBICACIÓN DEL POZO	NIVEL ESTÁTICO(m)
A	2.55
B	7.18
C	10.62
D	17.315
E	16.43
F	16.79
H	14.22
I	5.74
J	10.43
K	18.81
L	18.62
M	5.12
N	13.92
O	19.39

Tabla 3.1. Medidas de Niveles Estáticos de Norias en Valle Luz

La ubicación de los pozos y el comportamiento hidráulico se muestra en las figuras siguientes.

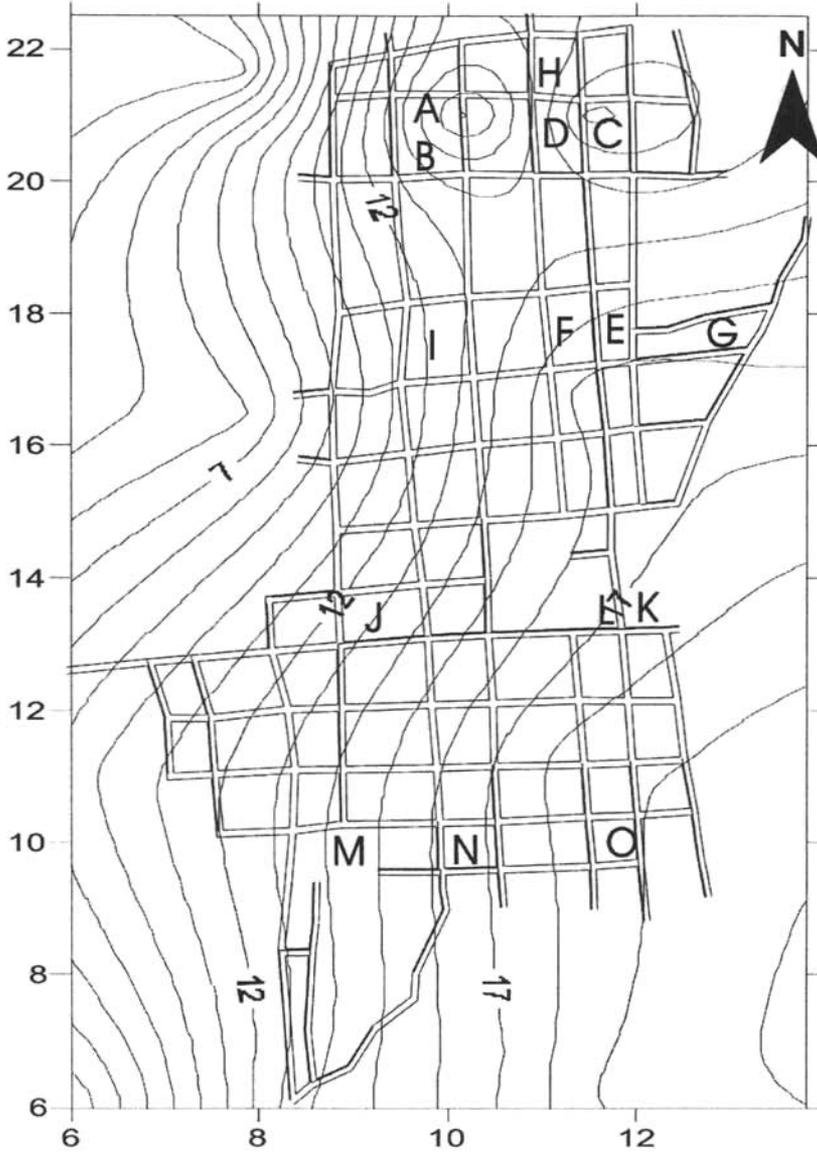


Figura 3.12. Mapa del Poblado de Valle Luz con Profundidad al Nivel Estático

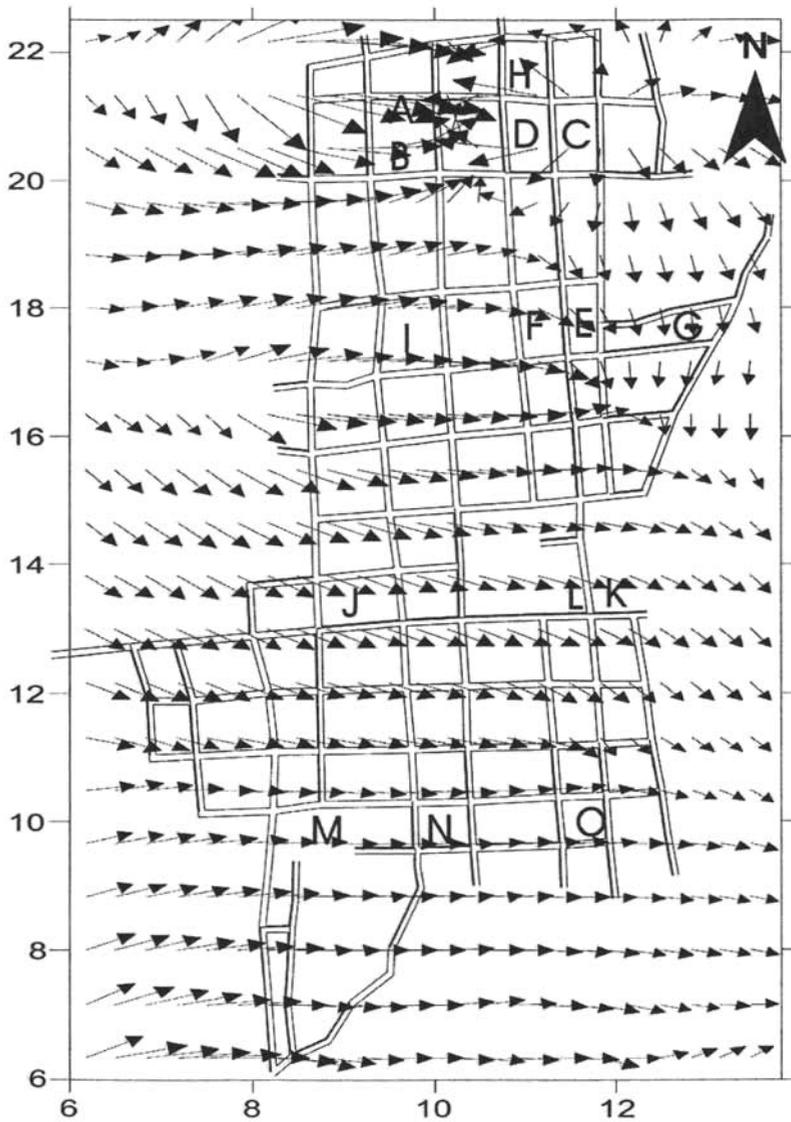


Figura 3.13. Mapa del Poblado de Valle Luz con la Dirección del Flujo del Agua Superficial

Como se puede observar en las curvas de niveles estáticos se estima que es muy variable en la zona entre los 3 y 22 metros. El potencial acuífero subterráneo del área se incrementa hacia las zonas topográficamente bajas, disminuyendo hacia las estribaciones del norte de la población.

Desde el punto de vista Hidrológico el área en la que se encuentra el sitio estudiado, está delimitada al Oeste por el Río Balsas, en el cual confluyen una serie de arroyos de importante caudal y al Sur y SE con una serie de zonas montañosas.

3.6. ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGUA

3.6.1. Composición Mineralógica del Agua

El conocimiento de las propiedades químicas de los minerales en el agua constituye un paso importante para determinación su posible origen y procedencia.

Algunas de las propiedades o características químicas, como por ejemplo la solubilidad, son básicas para la realización del Análisis Químicos.

A continuación se mencionan los sólidos de sales disueltas migratorias en el agua subterránea de mayor importancia, que se dividen en aniones (HCO_3 , SO_4 , Cl , CO_3) y cationes (Ca, Mg, Na, K)

3.6.2. Ion Cloruro Cl

Es una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de agua. Sales en general muy solubles, muy estables en disolución y muy difícilmente precipitable. No se oxida ni se reduce en aguas naturales. En general va asociado con el ion Na; en especial en aguas muy salinas.

3.6.3. Ion Calcio Ca

Es el quinto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe al su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso y dolomita. Sales desde moderadamente solubles a muy solubles. Es muy fácil de precipitar como CO_3Ca .

3.6.4. Ion Sodio Na

Es el sexto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, solubilidad muy elevada y muy difícil de precipitar es por esto, que casi siempre esta presente en la mayoría de las aguas naturales. Es afectado fácilmente por el cambio de bases. Suele ir asociado al ion Cl.

3.6.5. Ion Potasio K

Es el séptimo elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, aunque su presencia en las aguas naturales rara vez ocurre en concentraciones mayores de 20 mg/l . Solubilidad muy elevada y difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbida de forma muy poco reversible por las arcillas en formación, para formar parte de su estructura.

3.6.6. Ion Magnesio Mg

Presenta propiedades similares a las del ion calcio pero más soluble y algo más difícil de precipitar. Se encuentra en concentraciones entre 1 y 100 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a veces a algunos miles de ppm en aguas salinas o salmueras.

3.6.7. Ion Sulfato SO_4

Salas moderadamente solubles a muy solubles. En agua pura el SO_4Ca satura 1500 ppm, y puede llegar hasta 7200 ppm en aguas salinas. En medios reductores con abundante materia orgánica puede sufrir una reducción bacteriana, pero en general es estable. Es difícilmente precipitable ya que las sales solubles de Sr y Ba son muy escasas en la naturaleza.

3.6.8. Iones Bicarbonato y Carbonato HCO_3 , CO_3

Existe una profunda relación entre el CO_2 gas, CO_2 disuelto, HCO_3 , CO_3 y pH. Estos iones comunican alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón. No son oxidables ni reducibles en aguas naturales, se pueden precipitar con mucha facilidad como $CaCO_3$.

3.6.9. Análisis Químico del Agua

En este estudio geohidrológico se realizó un estudio de análisis de muestra de agua en diferentes puntos estratégicos del Municipio de San Miguel Totolapan, para determinar la calidad de agua que actualmente esta consumiendo los habitantes de esta región. A continuación se muestra en la figura los puntos donde se tomaron las muestras.

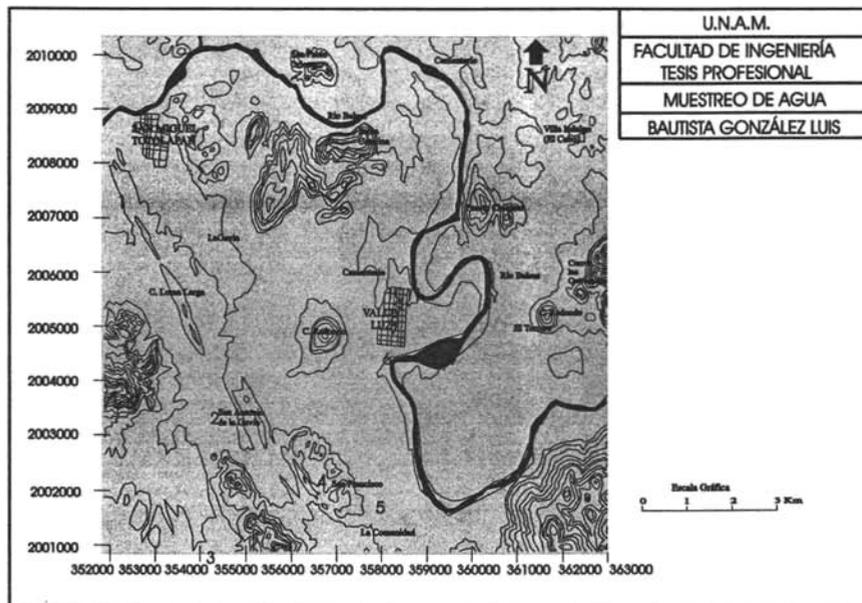


Figura 3.14. Mapa con ubicación de toma de muestra de agua.

Posteriormente se realizó el análisis de la muestra de agua en el Instituto de Geología en la Universidad Nacional Autónoma de México U.N.A.M. en la que se obtuvieron los siguientes resultados en meq:

Punto	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
1	0.80	12.80	1.226	0.110	0.0	8.40	1.25	4.93
2	2.80	3.60	1.517	0.085	0.0	6.00	1.00	1.20
3	2.80	4.20	1.526	0.069	0.0	6.00	2.00	0.92
4	3.60	3.80	1.4434	0.103	0.0	6.90	1.75	0.73
5	3.60	3.60	1.135	0.313	0.0	5.70	1.50	1.52
6	5.20	5.00	1.100	0.131	0.0	3.50	1.75	5.81
7	3.40	3.20	1.509	0.097	0.0	4.60	0.75	2.60
8	2.80	3.60	1.404	0.072	0.0	5.50	1.25	1.30
9	4.60	2.20	1.491	0.095	0.0	5.10	1.25	1.80
10	2.80	4.60	1.683	0.100	0.0	5.10	1.25	2.62
11	1.20	6.60	1.513	0.118	0.0	5.40	1.75	1.63

Tabla 3.2. Resultados del Análisis Químico de las muestras de Agua en meq

Transformando los resultados de meq a ppm, obtenemos lo siguiente:

Punto	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
1	16	161.28	28.198	4.301	0.0	512.484	44.375	236.8372
2	56	45.36	34.891	3.3235	0.0	366.06	35.5	57.648
3	56	52.92	35.098	2.6979	0.0	366.06	71	44.1968
4	72	47.88	33.1982	4.0273	0.0	420.969	62.125	35.0692
5	72	45.36	26.105	12.2383	0.0	347.757	53.25	73.0208
6	104	63	25.3	5.1221	0.0	213.535	62.125	279.1124
7	68	40.32	34.707	3.7927	0.0	280.646	26.625	124.904
8	56	45.36	32.292	2.8152	0.0	335.555	44.375	62.452
9	92	27.72	34.293	3.7145	0.0	311.151	44.375	86.472
10	56	57.96	38.709	3.91	0.0	311.151	44.375	125.8648
11	24	83.16	34.799	4.6138	0.0	329.454	62.125	78.3052

Tabla 3.3. Resultados del Análisis Químico de las muestras de Agua en ppm

3.7. APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE STIFF

Consiste en tomar sobre semirectas convergentes o paralelas, segmentos proporcionales a cada ion, y unir los extremos dando así formas poligonales. Sobre cada semirecta se toma un ion o bien un catión.

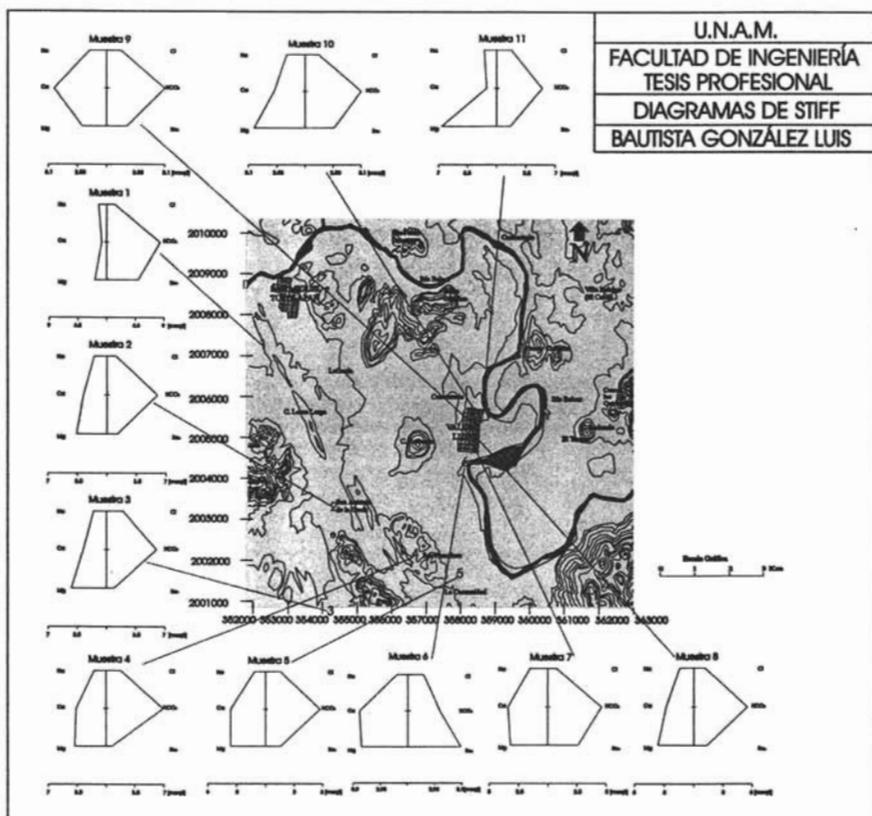


Figura 3.15. Mapa con Diagramas de Stiff

En los diagramas de Stiff mostrados en la figura 3.15 se puede observar que todas son aguas dulces, en las normas permisibles, comprenden de diferentes facies hidroquímicas del tipo de bicarbonatada cálcica como lo muestran los diagramas de las muestras 9,5,4,7,8, y cálcica magnésica 3,2,11,10,4, y carbonatada la muestra 1.

3.8. APLICACIÓN DE LOS POLÍGONOS DE PIPER

Este método nos permite aplicar con facilidad el manejo de las relaciones entre los iones, ya que se trata de hacer comparaciones entre varias muestras. Estas gráficas y diagramas pueden poner de relieve variaciones temporales o bien resaltar relaciones entre los iones de las diferentes muestras.

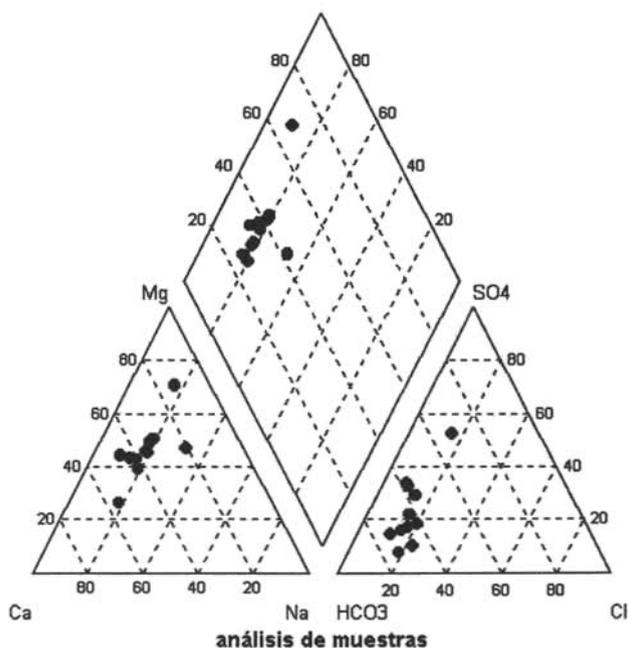


Figura 3.16. Polígono de Piper

Como se puede observar en la figura 3.16, corrobora lo anteriormente mencionado del resultado de los Diagramas de Stiff, ya que los puntos en el rombo, se ubican en la Facie Hidroquímica mencionada anteriormente.

CAPITULO 4. ESTUDIO GEOELÉCTRICO

En este estudio geohidrológico para el proyecto de pozo de agua, para la población de Valle Luz, Municipio de San Miguel Totolapan, Guerrero, se realizó el presente estudio con 6 sitios de medición de resistividad por el método electromagnético transitorio TEM, con la finalidad de conocer la distribución de la resistividad de las capas en el subsuelo y relacionarlas con el potencial hidrológico.

Posteriormente se realizaron dos Sondeos Eléctricos Verticales en el mismo sitio donde se realizó el TEM 4, uno con AB/2 de 467 m y el otro con AB/2 de 1000 m, para poder corroborar la interpretación del TEM.

4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL SONDEO ELÉCTROMAGNÉTICO TRANSITORIO TEM

A principio de los años ochentas se inicio el desarrollo de este método. Este método se basa en los fenómenos de relajación o transición, que se desarrollan en el terreno cuando se elimina o anula un campo físico artificialmente inducido (figura 4.1)

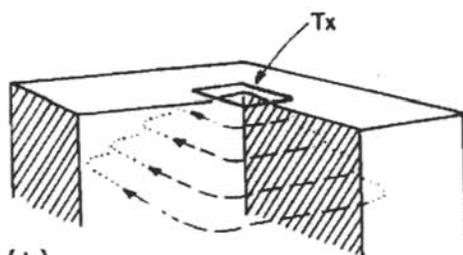


Figura 4.1. Técnica del TEM

La señal que normalmente se induce es de tipo escalón (Figura 4.2), a través de un emisor o generador del campo electromagnético consiste en un circuito de forma predeterminada (círculo, cuadrado, etc.), por el que se hace circular la señal. Al interrumpir la corriente se origina un campo magnético, que se amortigua y desaparece rápidamente. El receptor o captor (bobina) puede estar formado por el mismo circuito primario que originó el campo magnético u otro receptor de características prefijadas, y situados en el interior o próximo al primario.

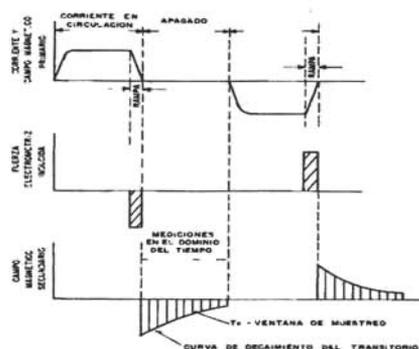


Figura 4.2. Tipo de Señales para Transitorio Electromagnético en el Dominio del Tiempo

La rápida variación del campo magnético originado al interrumpir el paso de la corriente, crea voltajes variables con el tiempo en el circuito o bobina del receptor. El proceso se repite varias veces, almacenando las medidas con un proceso sumatorio, que destaca los voltajes creados y tiende a anular el ruido de fondo de la zona.

Terminado el proceso, el equipo facilita los potenciales medidos en función del tiempo y el registro de la curva medida del potencial en función del tiempo.

En el comportamiento del campo electromagnético en la parte temprana (Early Time) y la ecuación de la resistividad aparente para el arreglo de Loop coincidente (coincident loop) esta dada de la siguiente forma.

$$r_a = 6.32 \times 10^{-12} \times b^{8/3} \times (V/I) \times t^{-5/3} \quad (4.1)$$

Donde:

- r_a Resistividad aparente (ohm-m)
- b Longitud del lado del loop (m)
- V/I Medición transitoria (volts/amp)
- t Tiempo de decaimiento a partir de la interrupción

Los métodos electromagnéticos están fundamentados en las ecuaciones de Maxwell.

$$\begin{aligned} \nabla \cdot E &= \frac{\rho}{\epsilon_0} & \nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \cdot B &= 0 & \nabla \times B &= \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \end{aligned}$$

Para lograr la interpretación conceptual de los TEM, es necesario aplicar en el dominio del tiempo, la teoría desarrollada para el dominio de la frecuencia.

El comportamiento del campo electromagnético en el instante en que se corta la transmisión de corriente $t=0$, está regulado por la ley de Faraday por la cual, el campo magnético tiende a mantener el mismo valor que poseía antes de que la fuente cortara el flujo de corriente, por lo que se pueden utilizar las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} E_{\phi}(\omega) &= \frac{3M\rho}{2\pi r^4} e^{i\pi} & E_{\phi}(t) &= \frac{3M\rho}{2\pi r^4} t \\ B_z(\omega) &= \frac{9M\rho}{2\pi r^5 \omega} e^{-i(\pi/2)} & B_z(t) &= \frac{9M\rho}{2\pi r^5} t \\ B_r(\omega) &= \frac{3\mu M e^{-i(3\pi/4)}}{2\pi \sqrt{\omega \mu \sigma r^4}} & B_r(t) &= -\frac{3\mu M}{\pi r^4} \sqrt{\frac{t}{\mu \sigma}} \end{aligned}$$

En donde E_{ϕ} se refiere al campo eléctrico inducido, B_z a la componente vertical del campo magnético, B_r la componente radial del campo magnético, M el momento bipolar, μ la permeabilidad eléctrica y σ la conductividad del terreno.

Se debe considerar que la penetración nominal, que se refiere a la distancia que una onda plana ha viajado a través del semiespacio cuando su amplitud ha sido atenuado en una relación de $1/e = 0.368$ de la amplitud original que tenía en la superficie (Orellana, 1974) está dado por:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (4.2)$$

De las ecuaciones mostradas, se puede observar que el comportamiento de campo, para altos números de la relación δ , es prácticamente el mismo componente a componente. En particular, el campo eléctrico y la componente vertical del campo magnético pueden ser obtenidas reemplazando ω en el dominio de las frecuencias por $1/t$ en la representación en el dominio del tiempo.

Aplicando la transformada de Fourier a la representación del espectro para las expresiones cuando poseen altos números de inducción, se puede derivar la expresión que corresponde con el comportamiento del campo en el dominio del tiempo.

$$E(t) = -\frac{3M\rho}{2\pi r^4} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-i\omega t}}{-i\omega} d\omega = -\frac{3M\rho}{2\pi r^4} \quad (4.3)$$

Debe considerarse que trasladar del dominio de las frecuencias al dominio del tiempo es válido sólo para un rango muy limitado de las bajas frecuencias.

Así es que el campo electromagnético para altos valores en el número de inducción queda dado por las siguientes expresiones:

$$H_z(t) = \frac{9MR_M^2}{2\pi r^3} \frac{1}{k_1^2 r^2}$$

$$H_r(t) = \frac{3MR_N}{2\pi i k_1 r^4}$$

$$E_\phi(t) = -\frac{3M\rho_1 R_N^2}{2\pi r^4}$$

En donde R_N es una función determinada por las propiedades del medio y de la frecuencia.

Por lo tanto, para el campo transitorio durante la primera etapa se tiene:

$$H_z^+(t) = \frac{9M}{2\pi r^4} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{R_N e^{-i\omega t}}{-i\omega k_1^2} d\omega$$

$$H_r(t) = \frac{3M}{2\pi r^4} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{R_N e^{-i\omega t}}{-\omega k_1} d\omega$$

$$E_\phi(t) = -\frac{3M\rho_1}{2\pi r^4} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{R_N e^{-i\omega t}}{-i\omega} d\omega$$

En donde ρ_1 se refiere a la resistividad de la capa de estudio i .

Las ecuaciones que se acaban de mostrar, pueden ser representadas como el producto de dos términos. El primero término depende del momento bipolar y de la separación, mientras que el segundo término es una función de la frecuencia y de

las propiedades del medio. Sin embargo, durante la llamada etapa temprana (Early Time) del acoplamiento transitorio, la relación entre las componentes del campo y las propiedades del medio es independiente de la separación r .

Debido a que la componente vertical del campo magnético observado durante la etapa temprana decae con la distancia r más rápidamente, se puede considerar que, durante éste intervalo, el campo transitorio es semejante a una onda plana no uniforme que penetra hacia abajo en un medio conductor.

Un análisis del comportamiento del campo muestra que durante los primeros tiempos, en un semiespacio conductor, el campo transitorio decae exponencialmente a lo largo del eje vertical, por lo tanto, hay una completa analogía entre el comportamiento de un campo con un alto número de inducción en el dominio de las frecuencias y durante la primera etapa en el dominio del tiempo.

4.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO

Una vez, identificado las principales direcciones de flujos superficiales, como son arroyos y zonas de recarga, se programaron 6 TEM que estaba planeado desde el principio del proyecto, con una distribución de tal manera de cubrir la mayor parte de la zona de interés. A continuación se presenta en la figura 4.4, la ubicación de la exploración geofísica y las coordenadas de cada sitio en el sistema UTM datum NAD27 en la Tabla 4.1.

La técnica TEM consistió en extender un cable formando un cuadrado que simule una espira o bobina, con dimensiones laterales de 150×150 , lo que implica un área en la bobina de 22500 m^2 , con el arreglo denominado "loop coincidente", es decir, donde únicamente se utiliza una bobina, la cual actúa en un instante de tiempo como transmisora de la señal y en otro como receptora, con el objetivo de alcanzar una profundidad de investigación de 400 m.

Se realizaron 6 Sondeos por Transitorio Electromagnético, los cuales se muestran en la figura 4.4, los cuales fueron ubicados alrededor del poblado de Valle Luz.



Figura 4.3. Utilización del método TEM

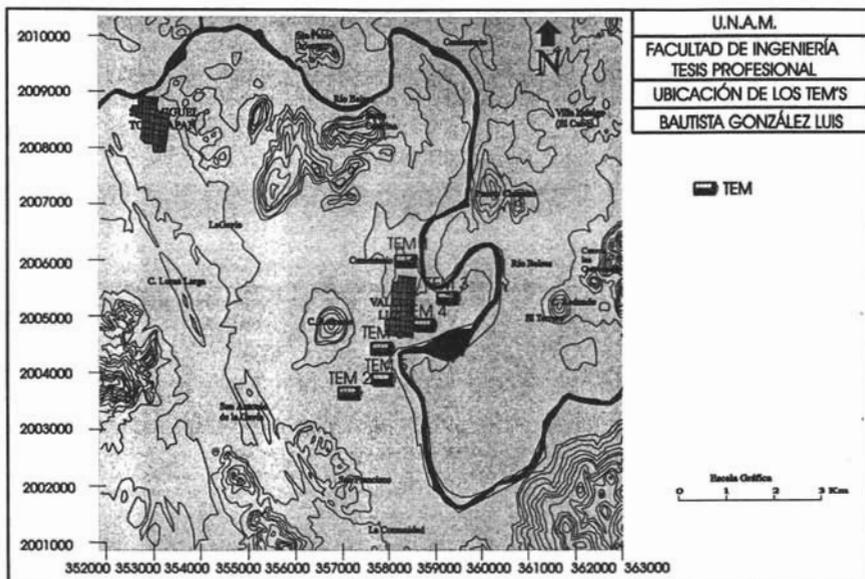


Figura 4.4. Localización de la Exploración Geofísica.

TEM	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEV. (msnm)
TEM1	358156	2005764	311
TEM2	357411	2003670	319
TEM3	359064	2005060	308
TEM4	358542	2004699	322
TEM5	357856	2003732	308
TEM6	357844	2004209	313

Tabla 4.1. Coordenadas UTM de los TEM (Datum NAD 27)

4.3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

El proceso de los datos, para cada sondeo, consiste en:

Los datos fueron procesados por el modelado de capas o unidimensional, se hizo siguiendo el método clásico de prueba y error, en el que se propone un cierto número de capas, dependiendo de las inflexiones de la curva de campo, las pendientes de la curva y los tiempos a los que ocurren las inflexiones. Se aprovechó la facilidad del paquete TEMIXS que permite la interacción con la computadora en un proceso conocido como interpretación interactiva.

Este proceso posibilita que el intérprete modifique los parámetros del modelo y presenta el cálculo de las curvas teóricas de las modificaciones realizadas, esta característica hace que el ajuste del modelo sea rápido.

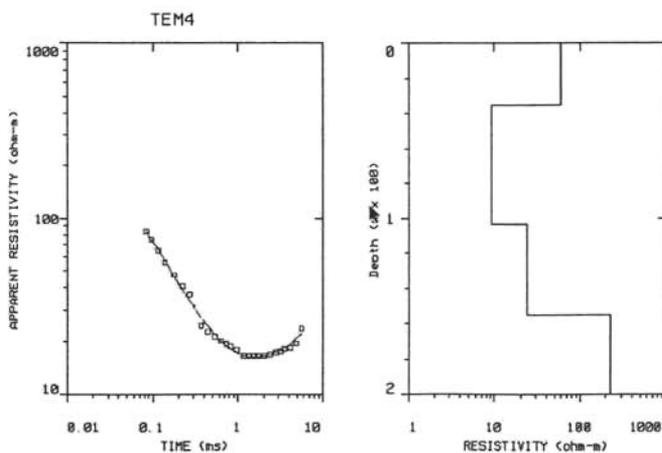
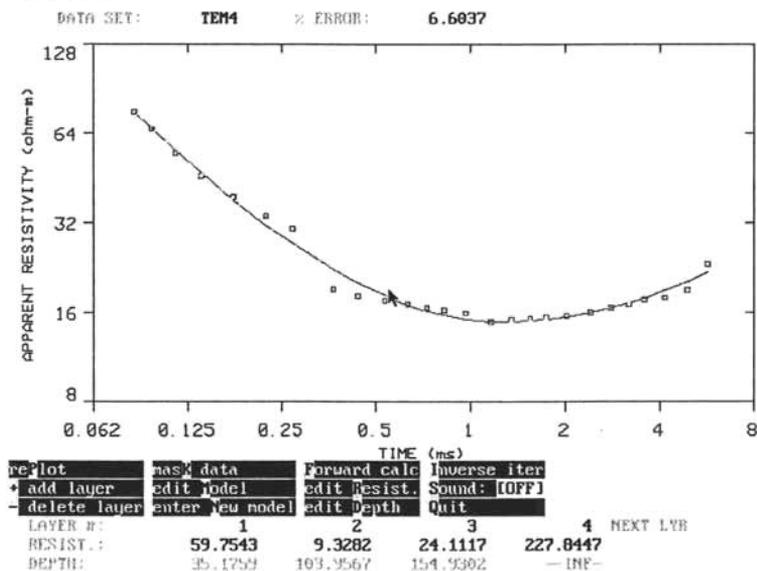
Una vez que se ha obtenido un ajuste aceptable, el modelo generado se somete a una regresión automática con las técnicas de Ridge y de Marquardt con algoritmos de aproximación de tipo Anderson (Brian R Spies, Dwight E. Eggers, " The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods" Geophysics, Vol. 51, No.7, Julio, 1986) para obtener, por inversión, el mejor ajuste bajo el criterio del error cuadrático medio mínimo.

Los modelos obtenidos, son sometidos a un nuevo proceso para obtener una serie de modelos equivalentes que cumplan con el mismo error de ajuste. Los modelos equivalentes posibilitan establecer el intervalo de variación de los espesores y resistividades en cada capa del modelo original con fines de correlación electrostratigráfica.

4.4. RESULTADOS DEL PROCESO DE LOS DATOS

Basándonos en la geología y topografía de la zona de estudio obtenida, se realizó el procesamiento de los datos de cada uno de los Sondeos Electromagnéticos Transitorios, a continuación se muestran un ejemplo de los resultados obtenidos:

Para el TEM 4.



4.5. PERFILES GEOELÉCTRICOS

Las secciones de resistividad, que obtuve de los modelos suavizados, representan las variaciones de la resistividad en el plano vertical, de donde es posible observar las diferentes características de los materiales, mediante la elaboración de secciones de resistividad verdadera. Realicé dos secciones de resistividad, con orientación NE-SW que consiste de los TEM 2, 3, 4 y 6, y en la dirección N-S consiste en los TEM 1, 5 y 6.

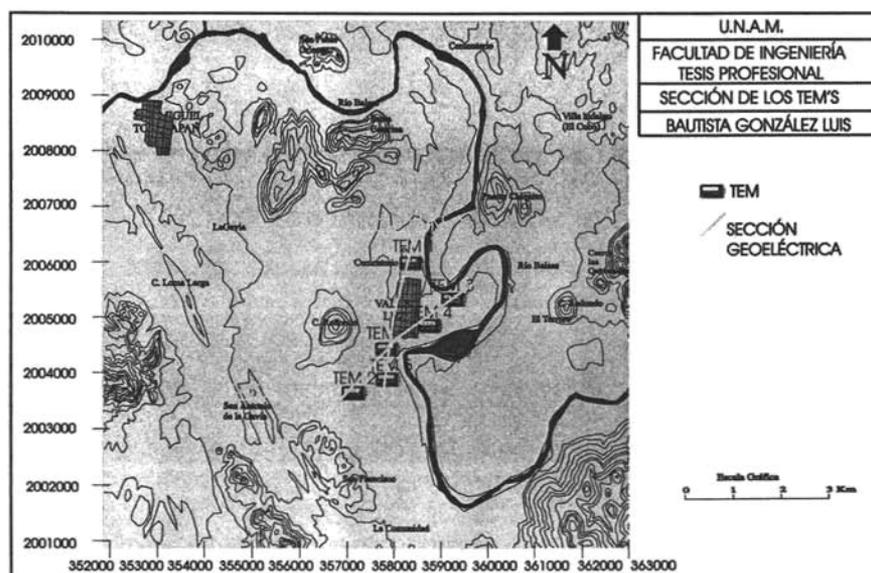


Figura 4.5. Dirección de las Secciones Geoeléctricas a Analizar

Para ilustrar el comportamiento integral de todos los sitios de los TEM a diferentes cortes horizontales, elaboré dos secciones de resistividad, para elaborar estas secciones me base en la geología y topografía del lugar obtenida con anterioridad.

La primera capa en donde las resistividades que varían entre los 46 a 62 ohmm y con un espesor que varía desde los 18 a 57 m, que pertenece al aluvion.

La segunda capa donde las resistividades varían entre los 6 a 17 ohmm, y con espesores de 80 a 135 m pertenece a los depósitos volcánoclasticos.

La tercera capa donde las resistividades varían de los 8 a 41 ohmm y con espesores de entre 100 a 155 m pertenece al conglomerado.

Y la cuarta capa donde tenemos resistividades altas de valores arriba de 200 ohmm pertenece a las calcarenitas o calizas que se encontraron en los recorridos de observación.

A continuación se muestran las secciones geoeléctricas obtenidas.

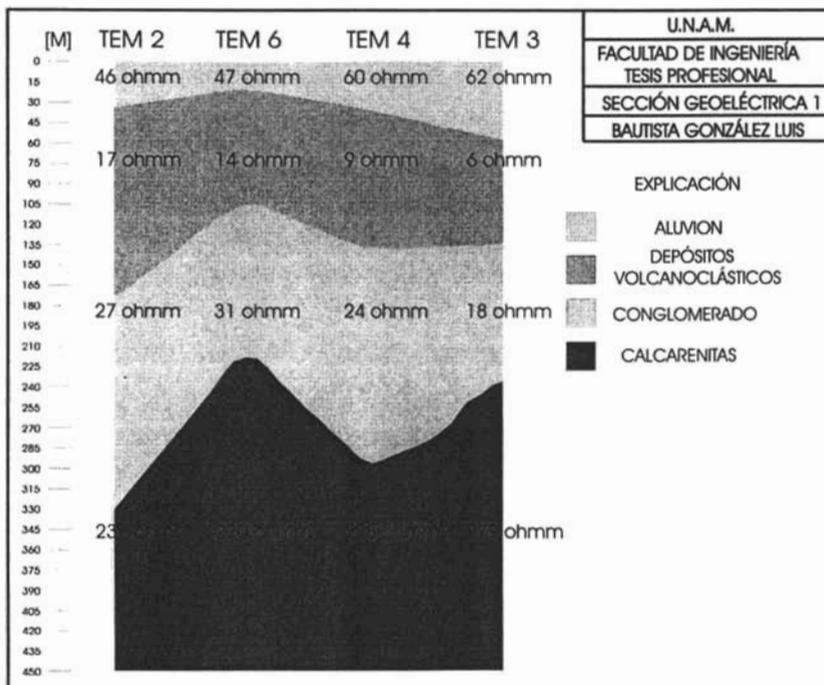


Figura 4.6. Sección Geoeléctrica I

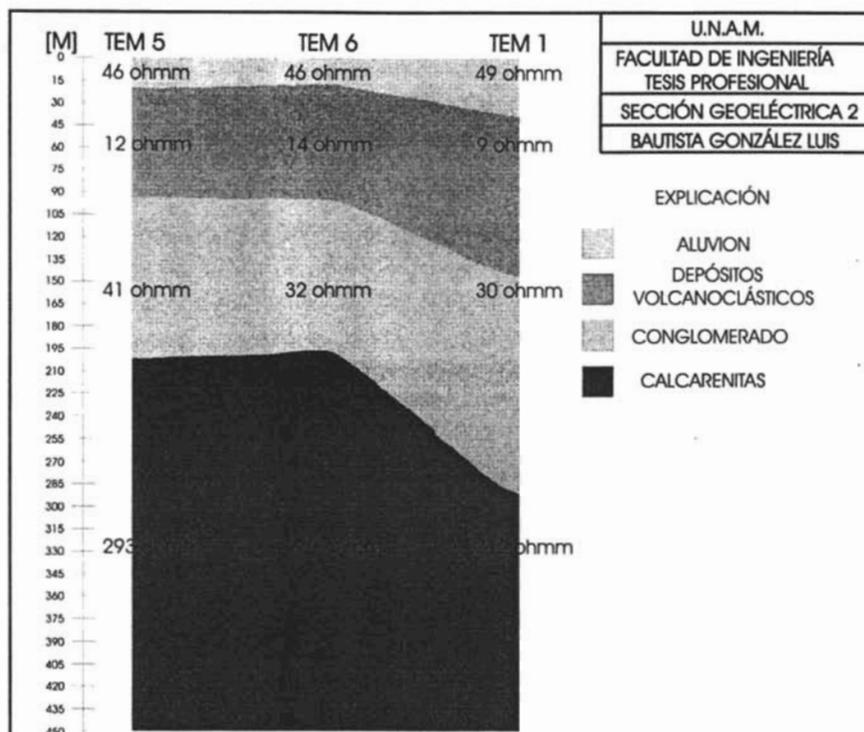


Figura 4.7. Sección Geoelectrica 2

4.6. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL

El parámetro que determinan los métodos eléctricos es la resistividad en las rocas del subsuelo y no directamente la presencia del agua en ellas, la presencia de este fluido puede modificar significativamente la resistividad de la roca que la contiene, de tal manera que a partir de las mediciones que se hagan de la resistividad se puede inferir si las rocas en estudio contienen agua o no.

Este método aprovecha que en la mayoría de las rocas del subsuelo presentan permeabilidad y que sus espacios disponibles están total o parcialmente rellenos de fluidos, de los cuales el principal y el más común es el agua. No debe olvidarse que, en algunos casos, parte de los minerales constituyentes de la roca son del tipo metálico y por ende conductores de la electricidad en mayor o menor grado; por esta razón las rocas pueden ser tratadas como un elemento conductor dentro de la teoría electromagnética

Basados en esta teoría se pueden definir relaciones *causa-efecto* para localizar un objetivo con base en las anomalías registradas cuando se ocasiona una perturbación, en este caso la inyección de una corriente eléctrica en el subsuelo, cuyo efecto es la modificación del potencial ocasionado por la corriente que se está inyectando. Es claro que la relación *causa-efecto*, si es que se puede hallar, es la solución del problema.

En primer término se analizan los fundamentos del método, que se detallan a continuación:

- Mediante dos electrodos que normalmente son unas varillas metálicas, (se pueden usar también discos y vigas metálicas), un generador de corriente y un equipo denominado transmisor, se inyecta corriente eléctrica en el terreno.
- Con otros electrodos, que normalmente son varillas de cobre, o vasijas especiales denominadas impolarizables, y un voltímetro de alta precisión, se mide la diferencia de potencial que existe entre dos puntos del terreno ocasionada por la corriente que se esta inyectando.
- De acuerdo con un modelo de interpretación definido previamente y un arreglo geométrico entre los electrodos de emisión de corriente y los de medición de potencial, se relaciona la corriente inyectada en el terreno con la diferencia de potencial medida, definido en este caso un parámetro conocido como resistividad aparente (ρ_a).
- Se relaciona geométricamente la resistividad aparente con la separación entre los electrodos de corriente, obteniéndose una curva que es interpretada en términos de los parámetros que definen el módulo usado para la interpretación.

- Una vez conocidos los parámetros del modelo de interpretación, se hace una correlación con la geohidrología y geología del área, y con ello obtenemos la interpretación final en términos de la presencia del agua subterránea en el área de estudio.

4.6.1. Arreglos Geométricos de los Electrodo

Existen varios tipos; mencionaremos los arreglos tetraelectródicos más conocidos, Schlumberger y Wenner, que toman los nombres de sus autores, y los Dipolares.

En el primero, los cuatro electrodos se colocan en una línea en el terreno. Si denominamos los electrodos que se utilizarán para inyectar la corriente como A y B, y los que se emplearán para medir la diferencia del potencial como M y N, el arreglo en el terreno estaría representado en la figura 4.8.

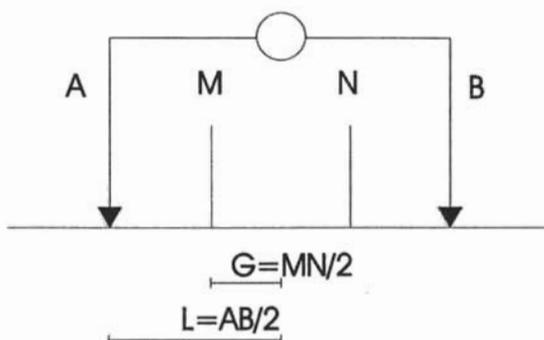


Figura 4.8. Arreglo Tetraelectródico Schlumberger.

4.6.2. Sistema Transmisor

Actualmente se emplean dos métodos: el primero consiste en tomar la corriente de una serie de pilas conectadas a un interruptor, a un amperímetro y a los electrodos, previamente enterrados total o parcialmente en el terreno; con esto se encierra un circuito, como se muestra en la figura 4.9.

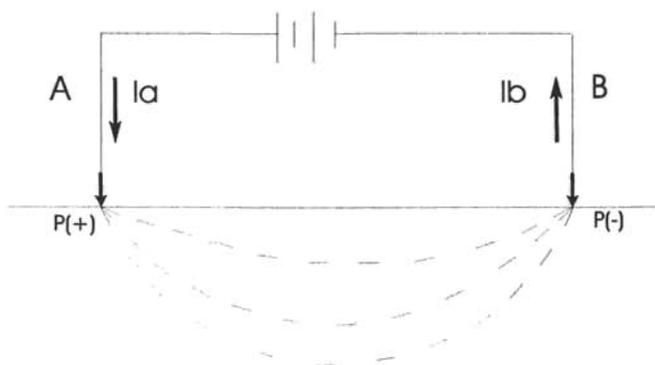


Figura 4.9. Circuito de Emisión de Líneas de Corrientes

De esta manera se pueden controlar con el interruptor el suministro de corriente y así saber cuánta está entrando al terreno. En realidad, los equipos que se emplean son bastante más complejos, pero el principio en que se basan es el mismo; es obvio que la corriente que se puede obtener con este tipo de equipos es limitada.

El otro método para inyectar la corriente en el terreno es mediante el uso de un motogenerador y un equipo transmisor de corriente controlada. La corriente se obtiene del motogenerador, es de tipo alterno y tiene una frecuencia definida. La función del transmisor es tomar la corriente alterna del motogenerador y rectificarla o darle una forma que durante cierto tiempo pueda ser considerada como corriente directa; a continuación, la corriente es enviada al terreno en forma controlada (por un circuito electrónico) mediante los electrodos previamente enterrados; esta corriente es medida con un amperímetro que puede estar en el mismo transmisor o en otra consola, como se muestra en la figura 4.10.

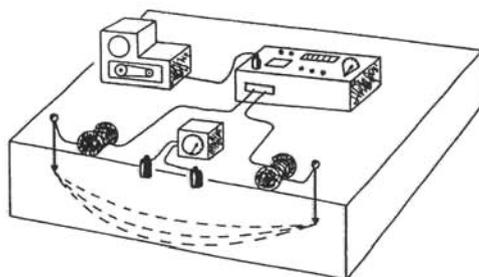


Figura 4.10. Sistema de Medición con Corriente Controlada.

4.6.3. Modelos Geoelectricos

Una vez establecido el método para inyectar la corriente y medir el potencial producido en el terreno cuando ésta es inyectada; se establece la relación que existe con la resistividad del terreno; utilizando la teoría electromagnética asociada a un modelo.

Un modelo es una forma geométrica con características propias en la cual se pueden aplicar matemáticamente los postulados de la teoría electromagnética, de tal manera que si se inyecta una cantidad de corriente eléctrica se pueda predecir cual es el voltaje que se medirá, son ejemplo de estos modelos:

- El semiespacio homogéneo
- El semiespacio estratificado
- El contacto vertical entre dos semiespacios

4.6.4. Semiespacio Homogéneo

En este modelo se considera que la tierra es plana dentro de la zona de estudio, que de la superficie del terreno hacia arriba, el medio es completamente aislante y que hacia abajo el material es completamente homogéneo y tiene una resistividad (ρ) como se muestra en la figura 4.11.



Figura 4.11. Modelo de Semiespacio Homogéneo.

En este caso, la circulación de la corriente y la diferencia de potencial que se producen están perfectamente definidas por la teoría electromagnética mediante la Ley de Ohm. El tratamiento matemático se puede encontrar en un buen número de publicaciones como Orellana (1982), Keller y Freichnecht (1966), Koefoed

(1979), y muchos otros; aquí sólo se presenta la fórmula resultante para los arreglos tetrapolares.

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right] \quad (4.4)$$

Donde:

V = Diferencia de Potencial

I = Corriente inyectada en el terreno

ρ = Resistividad

AM, BM, AN, BN , son las distancias entre los electrodos de acuerdo con la figura 4.8.

De la formula 4.4 se puede despejar la resistividad y se obtiene:

$$\rho = 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (4.5)$$

Se hace:

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]^{-1} \quad (4.6)$$

La formula 4.5 se convierte en:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4.7)$$

K es conocida como constante geométrica del arreglo electródico, y su valor depende del arreglo que se está usando de las distancias entre los electrodos.

Dicha constante es de importancia, ya que durante el trabajo de campo en los sondeos se le emplea independientemente del modelo que se esté aplicando; por ello se presenta a continuación las fórmulas de su cálculo para los diferentes arreglos electródicos.

Como en este estudio geohidrológico se aplico el arreglo schlumberger, solo se realizará el análisis matemático de este método.

Schlumberger

$$K = \pi \left(\frac{L^2}{a} - \frac{a}{4} \right) \tag{4.8}$$

Donde:

$$\begin{aligned} L &= AB/2 \\ a &= MN \end{aligned}$$

En la práctica generalmente se emplea el factor geométrico mostrado en la ecuación 4.9.

$$K = \pi \frac{L^2}{a} \tag{4.9}$$

4.6.5. Densidad de Corriente

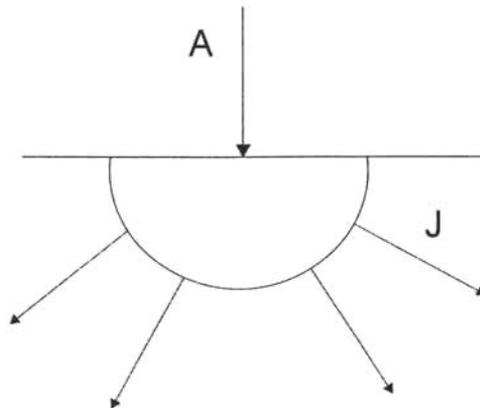


Figura 4.12. Densidad de Corriente.

En el semiespacio se considera que la densidad de corriente se desplaza en forma semiesférica a partir de cada uno de los electrodos de corriente, como se muestra en la figura 4.12, siguiendo la ley dada por la fórmula 4.10 (Orellana, 1982).

$$J = \frac{1}{2\pi} \frac{I}{r^2} \quad (4.10)$$

Donde:

J = Densidad de corriente

I = Corriente

r = Distancia

En la figura 4.11 se ilustra la distribución de la corriente generada por un polo ubicado en la superficie del espacio del semiespacio homogéneo, y como apreciamos en la figura 4.9, la corriente circula en el terreno del polo positivo al polo negativo.

De acuerdo con Orellana (1982), la fracción F de corriente que circula por encima de una profundidad Z_0 en un medio homogéneo es:

$$F = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(-\frac{Z_0}{I} \right) \quad (4.11)$$

Donde:

$$I = AB/2 \quad (4.12)$$

De esta fórmula se deduce que la mitad de la corriente circula por encima de la profundidad $Z=1$, y el 70% por encima de $Z=21=AB$; es obvio que al aumentar la distancia AB entre los electrodos de corriente se incrementa el volumen por medir y con ello la profundidad de investigación; de allí se hacen varias mediciones incrementando la distancia entre los electrodos de corriente, el efecto que se logra es el de aumentar la profundidad de investigación; en el caso del modelo que abordamos, que es el semiespacio homogéneo, y solo en este caso, resulta ser del orden de la distancia AB .

4.6.6. Semiespacio Estratificado

Otro de los modelos de interés por ser un caso común en la geología es el semiespacio estratificado horizontalmente, donde el semiespacio conducto está constituido por dos o más capas definidas por su resistividad y su espesor, como se encuentra en la figura 4.13.

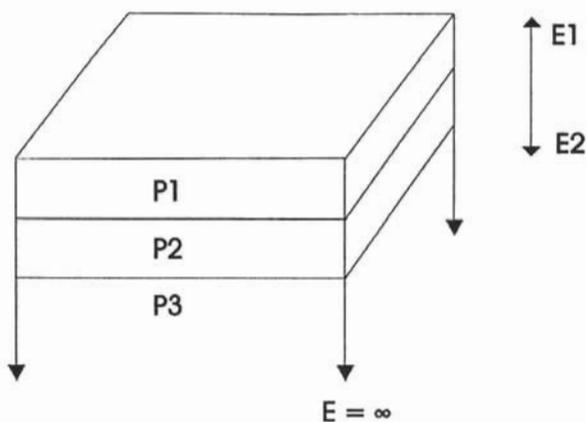


Figura 4.13. Semiespacio Estratificado.

Este es el modelo comúnmente en la interpretación de los sondeos eléctricos verticales.

Tampoco en este caso se analizará exhaustamente la solución matemática de la ecuación diferencial que rige la distribución del potencial; sin embargo, dicha solución está basada en los siguientes hechos:

- a) La ecuación diferencial $\nabla^2 V = 0$ se satisface en cada uno de los estratos.
- b) Al primer estrato se le agrega al potencial producido por un solo electrodo puntual, conocido como potencial primario (Orellana, 1982), es decir:

$$V_p = \frac{1}{2\pi} \frac{I\rho_1}{r} \quad (4.13)$$

El método que generalmente se emplea para encontrar la solución es el de separación de variables.

Las condiciones para poder calcular el potencial son:

1) Los potenciales son continuos a través de las interfaces de los estratos, es decir:

$$V_i = V_{i+1}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, N-1$
 $N = \text{número total de estratos}$

2) Las componentes normales del vector densidad de corriente (J) son continuas a través de las interfases, es decir:

$$J_{N,i} = J_{N,i+1}$$

$J_N = \text{componente normal del vector densidad de corriente}$
 $i = \text{estrato}$

3) En la superficie del terreno ($Z = 0$) el gradiente del potencial en la dirección vertical es cero, esto es:

$$\left. \frac{\partial V_1}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$$

4) El potencial tiende a cero a grandes distancias, es decir:

$$V \rightarrow 0, \text{ conforme } r \rightarrow \infty$$

Para conocer detalladamente como se obtiene la solución analítica del potencial se recomienda consultar los libros de Koefoed (1979), y Orellana.

En principio, el potencial se podría determinar par cualquier estrato; sin embargo, en la exploración eléctrica sólo nos interesa el potencial que existe en el primero debido a la corriente inyectada en el terreno y a la distribución de las resistividades y espesores, y que se mida en $Z = 0$ (superficie del terreno). La solución analítica

que define el potencial es para un electrodo puntual, por superposición se encuentra en cualquier arreglo de electrodos. Considerando lo anterior, la solución general para potencial (Orellana), es:

$$V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \int N_n(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda \quad (4.14)$$

Conocida como Integral de Stefanescu, debido a que el rumano Sabba Stefanescu halló la solución.

Podemos ver que intervienen tres funciones, una es la función V del potencial, que se mide en el terreno, otra es la $N_n(\lambda)$, conocida como función de transformación de resistividad ó Kernel, que depende exclusivamente de las resistividades y los espesores de las capas que constituyen el modelo, y $J_0(\lambda r)$, conocido como función de Bessel de primera clase y otro cero.

Supongamos que se hacen mediciones del potencial con un arreglo tetrapolar, como es el caso del dispositivo Schlumberger, en un semiespacio conductor. A partir de la ecuación 4.7 y 4.9, la expresión de la resistividad estará dada por:

$$\rho = \pi \frac{L^2}{a} \frac{\Delta V}{I} = \pi \frac{L^2}{I} \frac{\Delta V}{a} \quad (4.15)$$

La expresión V/a se toma como el gradiente del potencial, que no es otra cosa que el campo eléctrico, es decir.

$$\rho = \pi \frac{L^2}{I} |E| \quad (4.16)$$

Indudablemente el valor reportado por la ecuación 4.16 será constante e igual a la resistividad verdadera del semiespacio.

Si ahora el mismo dispositivo se emplea sobre un medio estratificado, como el de la figura 4.13, el campo eléctrico que se observaría al aplicar el gradiente a la ecuación 4.14 ($\partial V / \partial r$) considerando los dos electrodos de corriente será:

$$|E| = \frac{I\rho_1}{\pi} \int N_n(\lambda) J_1(\lambda r) d\lambda \quad (4.17)$$

Sustituyendo la ecuación 4.16 se obtiene:

$$\rho_a = \rho_1 r^2 \int_0^{\infty} N_n(\lambda) J_1(\lambda r) d\lambda \quad (4.18)$$

En donde:

ρ_a = resistividad aparente

$N_n(\lambda)$ = función Kernel

$J_1(\lambda r)$ = función de Bessel de primera clase y orden uno

Es claro de la ecuación 4.18 que, conforme r aumenta, ρ_a no sería constante puesto que la corriente ha penetrado en el medio estratificado y su distribución depende de las resistividades verdaderas, así como de los espesores de los estratos. Por tal razón, a ρ_a se le conoce como la resistividad aparente, que para un arreglo Schlumberger está expresada por la ecuación 4.18.

4.7. APLICACIÓN DEL MÉTODO

Como parte del proyecto se realizaron dos Sondeos Eléctricos Verticales para tener bien en claro los espesores de la litología, en las coordenadas siguientes de la tabla 4.2.

SEV	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEV. (msnm)
SEV1	358542	2004699	322
SEV2	358542	2004699	322

Tabla 4.2. . Coordenadas UTM de los Sondeos Eléctricos Verticales (Datum NAD 27)

El primer sondeo se realizó en dirección N-S con una abertura de AB/2 de 467 m y una penetración aproximada de 120 m, ya que el meandro que forma el Río Balsas a las afueras del Poblado de Valle Luz, nos impidió llegar a los 1000 m.

El segundo sondeo se realizó en dirección E-W con una abertura de AB/2 de 1000 m y una penetración teórica de aproximadamente de 250 m.

Como se ya se había mencionado anteriormente el método para la realización de sondeos tipo Schlumberger, consistió en variar la separación entre los electrodos A y B de forma que se pueda llevar el estudio hasta la profundidad teórica deseada. Para cada abertura se debe tomar el valor de corriente que se está inyectando al medio, y mediante la expresión en unidades de Ohm, se debe de realizar el cálculo para obtener el valor de resistividad medida. Para mejorar la calidad en los resultados de los sondeos, es recomendable llevar un registro en campo, que consiste en una gráfica logarítmica en donde marca el valor de resistividad obtenido para cada valor de $AB/2$, de tal forma que se pueda hacer una apreciación cualitativa de la resistividad que se está midiendo, así la curva formada de resistividades medidas, debe presentar curvas suaves, por lo que al presentarse un cambio abrupto en los valores medidos se pueda repetir la toma de datos.



Figura 4.14. Arreglo del Dispositivo Schlumberger



Figura 4.15. Toma de Datos de Resistividad Aparente

AB/2	MN	SP	V	I	K	Ro_a
1	0.4	0	1250	1075	7.5398	8.7672
1.5	0.4	0	573	870	17.357	11.432
2	0.4	0	459	890	31.102	16.04
3	0.4	0	298	818	70.372	25.637
5	0.4	0	149	790	196.04	36.974
7	0.4	0	101	878	384.53	44.234
10	0.4	0	45	760	785.08	46.485
15	0.4	0	29	1029	1767	49.794
22	0.4	0	11	725	3801	57.671
32	0.4	0	6	806	8042	59.867
47	0.4	0	3	1009	17349	51.583
68	14	0	75.9	1444	1027	53.962
100	14	0	2.5	141	2233	39.592
147	14	0	0.3	40	4838	36.285
215	14	0	0.6	180	10362	34.54
316	30	0	2.5	808	10433	32.281
464	14	0	0.5	539	48301	44.806
681	30	0	0.6	485	48541	60.051
1000	30	0	1.1	1275	104696	90.326

Tabla 4.4. Datos de Resistividad Aparente del SEV 2

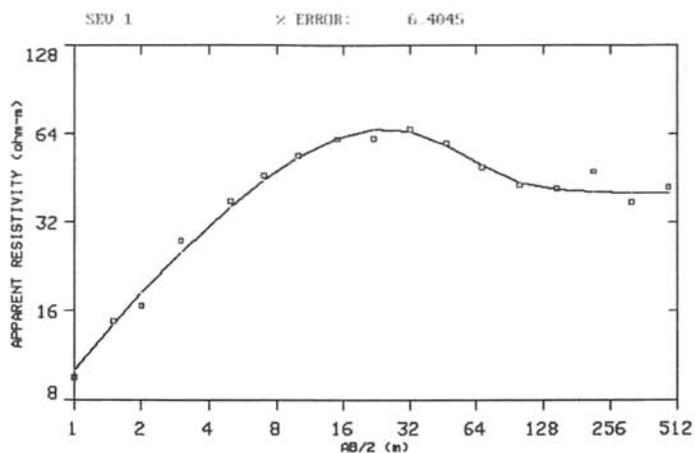
4.9. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Una vez tomados los datos de campo, se utilizó el programa de RESIXP de Interpex para la interpretación. El mecanismo es introducir los datos al programa, generar una curva sintética que es parecida a la curva obtenida en campo y con ello conocer los valores de resistividad y profundidad presentes en el subsuelo.

El primer tratamiento que debe realizarse a los datos es el empalme, después se debe revisar la curva y definir cuantos puntos de inflexión existen, con el fin de hacer una aproximación de la cantidad de capas detectadas. Posteriormente se comienzan a suponer profundidades y valores de resistividad de forma que el programa genere una curva sintética. Mediante un proceso de prueba y error, se intenta hacer coincidir la curva sintética generada por el programa con la curva obtenida en campo. Una vez que se obtiene una aproximación adecuada de la curva, se obtiene el modelo para el sondeo que se está trabajando, esto es, se conocen los valores de profundidad y resistividad real de las capas.

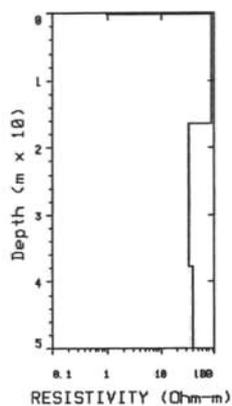
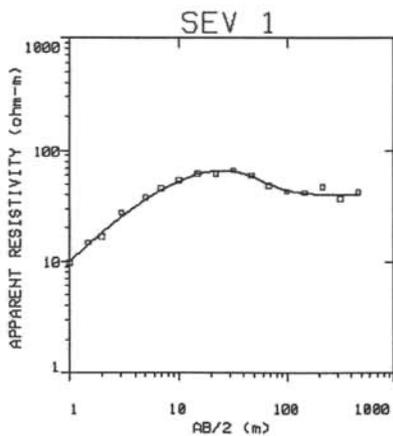
A continuación se muestra el procesamiento de los datos de campo:

Interpretación del SEV 1

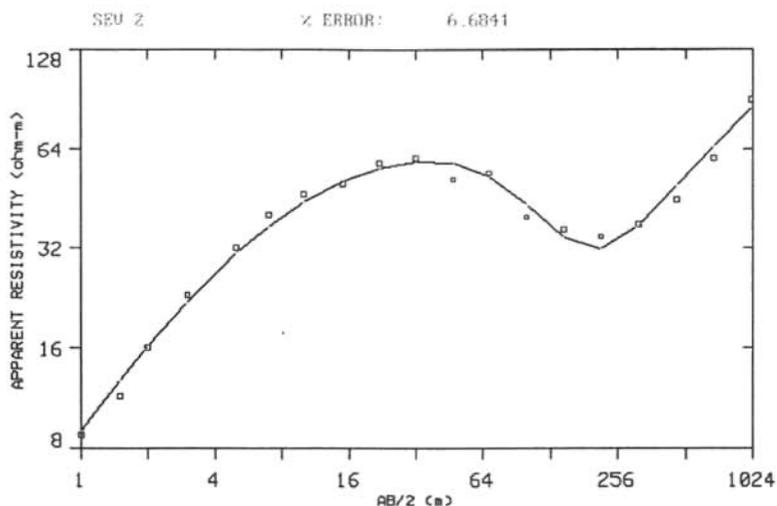


P > REPLOT F > FORWARD CALC. I > INVERSE ITER Q > EXIT
 * > ADD LAYER - > DELETE LAYER R > EDIT RESIST. D > EDIT DEPTH

LAYER #:	1	2	3	4
RESIST.:	0.9581	88.8009	33.6205	40.1954
DEPTH:	0.6849	16.3283	37.7611	— INF —

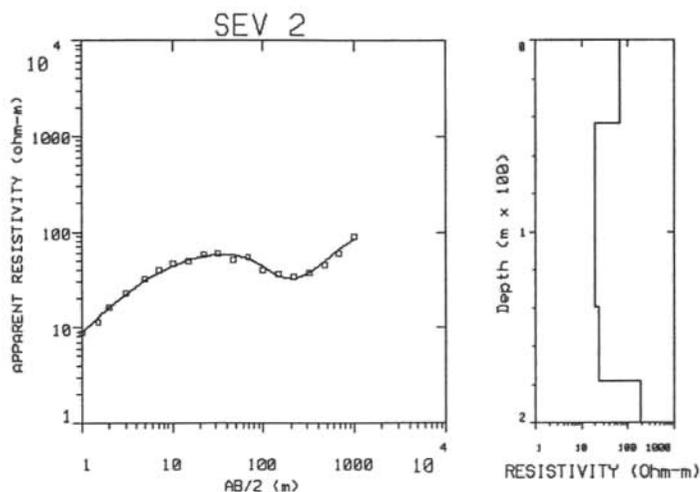


Realizando la interpretación del SEV 2, obtenemos lo siguiente.



P > REPLOT F > FORWARD CALC. I > INVERSE ITER Q > EXIT
 + > ADD LAYER - > DELETE LAYER R > EDIT RESIST. D > EDIT DEPTH

LAYER #:	1	2	3	4	5
RESIST.:	1.5276	65.938	19.0317	23.3463	195.0227
DEPTH:	0.1478	43.3378	139.9453	178.2927	--INF--



4.10. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS PROCESADOS

Posteriormente después del procesamiento de los datos de campo y obtener los espesores y resistividades verdaderas, se debe de realizar la correlación o integración de los datos arrojados con la geología anteriormente descrita y con la interpretación obtenida anteriormente de los TEM, sobre todo con la del TEM 4, en donde se puede construir la columna estratigráfica que se encuentra en el lugar de la zona de estudio, en ésta interpretación, se tomó en cuenta la información arrojada del SEV 2, ya que fue el sondeo que tuvo una abertura de $AB/2$ de 1000m y nos arrojó una información de 250 m de penetración.

En los primeros 44 m, nos dio una resistividad verdadera de 66 ohmm, que representa el paquete litológico del aluvión.

Los siguientes 140 m de espesor, nos arrojó una resistividad verdadera de 20 ohmm, que representa la segunda capa, que representa a los depósitos volcanoclásticos.

La siguiente capa que consiste de un espesor de 178 m, se obtuvo una resistividad verdadera de 23 ohmm, la que podemos representar como la capa del conglomerado.

Y por último la resistividad verdadera de 198 ohmm pertenece a las calcarenitas y a las calizas.

En la figura 4.17 se muestra la explicación gráfica de la representación de la columna estratigráfica que arrojó el resultado de la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales.

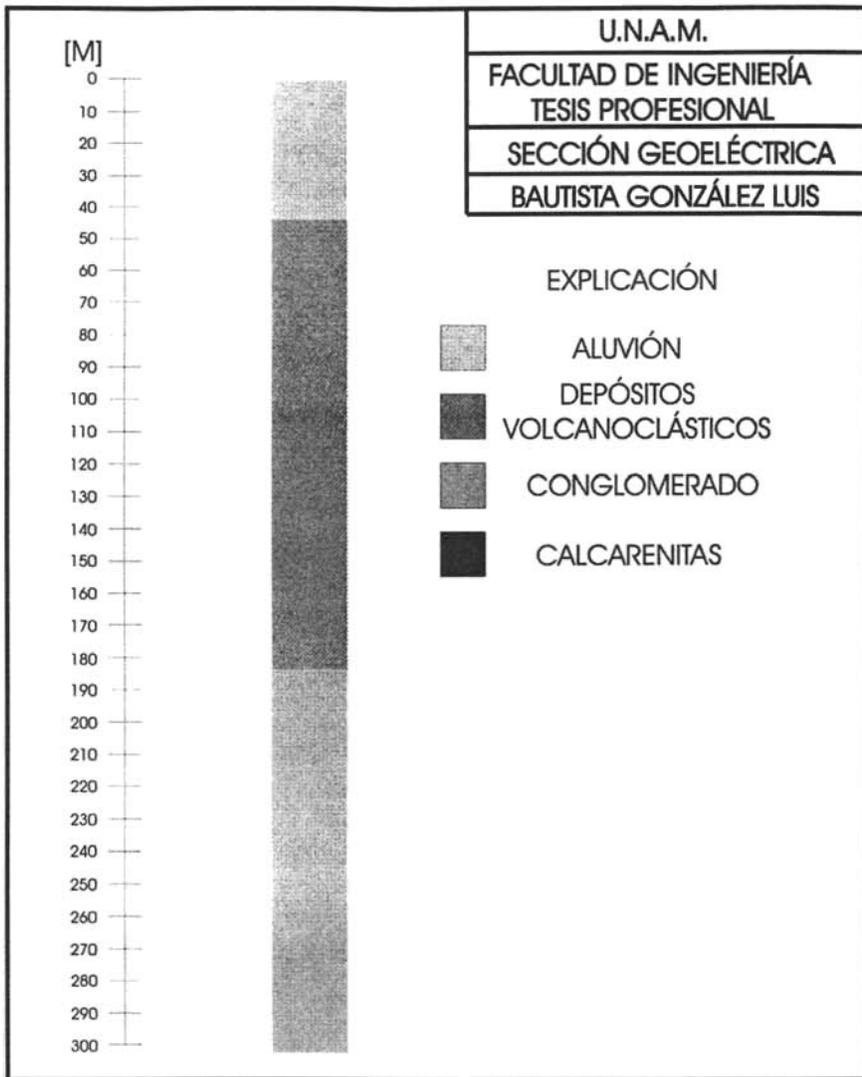


Figura 4.17. Columna Estratigráfica Obtenida de la Interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales

4.11. CORRELACIÓN DE LOS MÉTODOS

A continuación se realizará la correlación de los métodos utilizados en este estudio, añadiendo la información que generó un Registro Eléctrico que se le realizó al pozo de prueba.

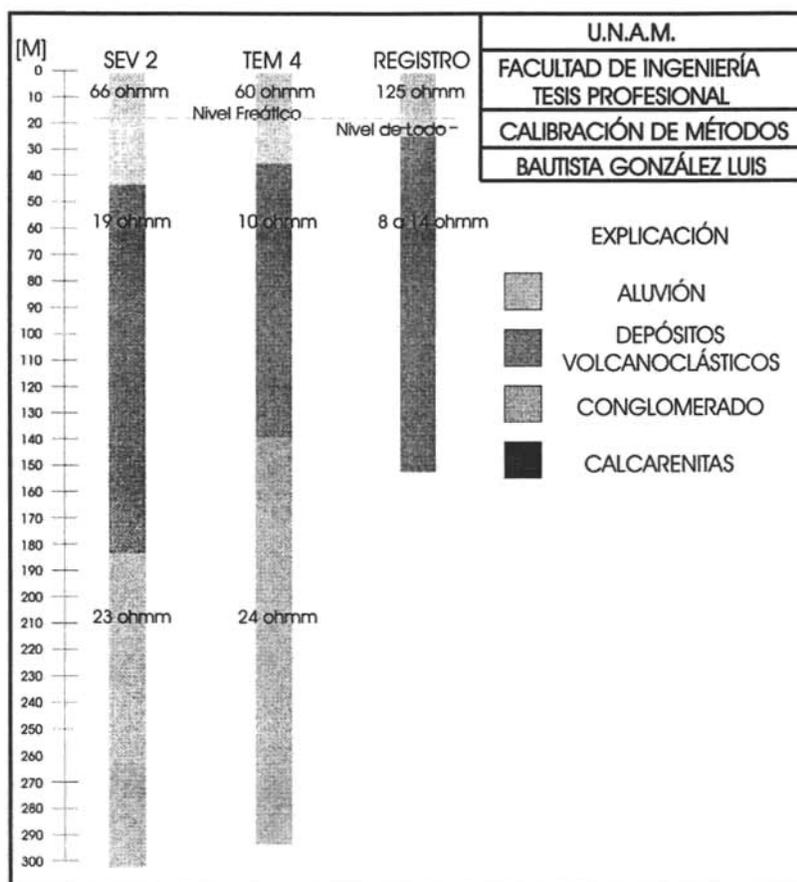


Figura 4.18. Calibración de los Métodos Utilizados

Como se puede observar en la figura 4.18, los métodos nos arrojan, resultados similares en las resistividades obtenidas, y en los espesores, teniendo una variación en la resistividad inicial del Registro Eléctrico, ya que arroja una resistividad alta debido al lodo de perforación.

Conclusiones

CONCLUSIONES

El agua subterránea se encuentra alojada principalmente en el aluvi6n, el cual es recargado lateralmente por el R6o Balsas y por la lluvia.

El 6rea de estudio, est6 integrada por extensas y potentes espesores de materiales areno-arcillosos, de caracter6sticas heterog6neas con una permeabilidad media estimada, por lo que se puede afirmar que hay el agua suficiente para abastecer de por lo menos 5 lps de agua potable al poblado de Valle Luz.

Por los resultados arrojados del estudio geohidrol6gico, qu6micamente la calidad el agua es buena, pero bacteriol6gicamente como se trata de norias no se descarta que existan problemas de tipo bacteriol6gico.

Se recomienda que la perforaci6n de un pozo exploratorio en el sitio donde se realiz6 el TEM 4, ya que aqu6 se tienen las mejores condiciones geohidrol6gicas y en cuanto a la infraestructura hidr6ulica, por la cercan6a del camino, la fuente de energ6a el6ctrica, y la cota m6s alta cercana al poblado de Valle Luz.

Por la geolog6a encontrada en la zona de estudio, el resultado de las secciones de resistividad obtenidas con las mediciones del TEM, y por los Sondeos El6ctricos Verticales evidencian cambios importantes en las caracter6sticas f6sicas de las rocas, de tal manera, que se efectu6 una zonificaci6n geoelectrica mediante cuatro unidades, que se mencionan a continuaci6n.

La primera capa en donde las resistividades que var6an entre los 46 a 62 ohmm y con un espesor que var6a desde los 18 a 57 m y dureza baja, que pertenece al aluvi6n.

La segunda capa donde las resistividades var6an entre los 6 a 17 ohmm, y con espesores de 80 a 135 m pertenece a dep6sitos vulcanocl6sticos y dureza media.

La tercera capa donde las resistividades var6an de los 8 a 41 ohmm y con espesores de entre 100 a 155 m pertenece al conglomerado con dureza alta.

Y la cuarta capa donde tenemos resistividades altas de valores arriba de 200 ohmm pertenece a las calcarenitas o calizas que se encontraron en los recorridos de observaci6n con una dureza alta.

Con la integraci6n de las secciones de resistividad, escurrimientos superficiales, y apoyadas en las estructuras geol6gicas identificadas, los seis sitios presentan condiciones similares en lo general para los primeros 50 a 110 m, mientras que a mayor profundidad se presentan cambios laterales, que influyen en la ubicaci6n del pozo.

Conclusiones

Por lo anterior se recomienda que la perforación del pozo exploratorio sea en el Sitio TEM 4, ya que por presupuesto de la obra y por ser la cota más alta y cercana al poblado en este lugar se realice la construcción del tanque de abastecimiento.

Se recomienda que la perforación exploratoria sea hasta una profundidad de 100 metros, con el objetivo de obtener el mayor caudal posible.

En cuanto al trabajo en equipo e interdisciplinario que se dio durante el desarrollo del proyecto, fue de gran ayuda profesional y lo más importante, me permitió retribuir a México y a la Universidad un poco de lo que me ha dado, pienso que programas como estos deben tener una mayor difusión, para crear un gran interés entre los futuros profesionistas y en un futuro (no muy lejano) hacerlos de carácter obligatorio.

Debe existir mayor control en cuanto a los reportes de avance que se entreguen durante el desarrollo del programa, para evitar incumplimiento al momento de la entrega del proyecto y pueda darse el caso de que los alumnos no hayan realizado sus actividades correspondientes, poniendo en entre dicho el prestigio de la Universidad.

Lamentablemente a la fecha no se ha podido percibir físicamente el objetivo principal, que es construir el sistema de agua potable, no así el estudio geohidrológico y el diseño funcional de dicho sistema el cual se terminó de forma satisfactoria y lista para su ejecución. Tengo plena confianza en que el gobierno estatal de Guerrero y la presidencia municipal de San Miguel Totolapan, unan esfuerzos para dar inicio y llevar a su fin en buenos términos la ejecución de este proyecto, ya que se requirió de un gran esfuerzo conjunto entre los alumnos y profesores de la Facultad de Ingeniería e Instituto de Geología.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez Jr. Manuel, 1949 Unidades Tectónicas de la República Mexicana; Boletín Sociedad Geológica Mexicana.

Alvarez Jr. Manuel, 1961. Provincias Fisiográficas de la república Mexicana; Boletín de la sociedad geológica Mexicana, Tomo24 No. 2.

Bian R. Spies, Dwight E. Eggers, 1986 "The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods" Geophysics, Vol. 51, No.7.

Cantos J. 1974. Tratado de Geofísica Aplicada. Editorial Litoprint España

Carreón, Concepción, 1995. Aplicación del Diagrama de Stiff como Herramienta Geoquímica en la Exploración Geotérmica del Valle de Mexicali, Baja California, Ingeniería Hidráulica en México, Vol 10, 3 pp.

Comisión Nacional del Agua. Subdirección Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Métodos Geofísicos en la Exploración del Agua Subterránea.

Cserna, Zoltan 1965. Reconocimiento Geológico de la Sierra Madre del Sur. Boletín del Instituto de Geología Núm. 62.

Cserna, Zoltan 1982. Resumen de la Geología de la Hoja Tejuipilco, Estados de Guerrero, México y Michoacán. Carta Geológica de México, Instituto de Geología.

Cserna Zoltan, Palacios-Nieto Miguel, Pantoja-Alor Jerges 1978. Libro Guía de la Excursión Geológica a Tierra Caliente, Estados de Guerrero y México. Sociedad Geológica Mexicana.

Dobrin M. 1975. Introducción a la Prospección Geofísica. Editorial Omega Barcelona España.

Fries Carl, Jr, 1960, Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México; UNAM Boletín del Instituto de Geología Núm. 60

Guzmán E.U. 1950 Geología del Noreste de Guerrero. Boletín de la asociación Mexicana geológica petrolera Vol.2.

Huizar Álvarez R. 2003. Dictamen para la perforación de un pozo para agua potable en la Icalidad de Valle Luz, Mpio de San Miguel Totolapan. Estado de Guerrero. 40 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Gobierno del Estado de Guerrero, Anuario Estadístico del Estado de Guerrero año 2000, Chilpancingo, Gro., 2000

Bibliografía

López-Ramos, E., 1979 Geología de México. Segunda edición. Edición Escolar, 3 volúmenes. México D.F.

Lugo-Hubb, J. 1990. El Relieve de la República Mexicana. Revista del Instituto de Geología. UNAM Vol.9 Núm 1.

Malpica Cruz, V.M. 1993. Cuaderno de Prácticas, Laboratorio de Sedimentología. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.

Misac N. Nabighian 1987. Electromagnetic Methods in Applied GEophysics. Society of Exploration Geophysicists.

Monografía Geológica Minera del Estado de Guerrero. Consejo de Recursos Minerales.

Morán-Zenteno, D. 1984. Geología de la República Mexicana. México D.F. Secretaría de Programación y presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Palmer, Christopher K., 1992, Principles of Contaminant Hidrology. Lewis Publishers, Michigan.

Pantoja, J.a. 1959 Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huetamo, Estado de Michoacán. Consejo de recursos Naturales no Renovables .Boletín Núm. 50

Orellana, E 1982. Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. Editorial Paraninfon Mdrd-España.

Orellana, E 1974. Prospección Geoeléctrica por Campos Variables. Editorial Paraninfon Mdrd-España.

Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Guerrero, "Los Municipios de Guerrero" en Enciclopedia de los Municipios de México. Talleres Gráficos de la Nación, México, D.F. 1988.

Wangsness, 1996. Campos Electromagnéticos. Editoroal Limusa, México D.F.

Wait, J.R. 1982. Geo-electromagnetism. Academic P.

ANEXO

REGISTRO ELÉCTRICO DEL POZO DE PRUEBA

Después de de la perforación del pozo de prueba que tiene una profundidad de 152 mts se realizó un registro eléctrico, donde la medición de la lectura superior fue a los 20 mts y la lectura inferior a los 152 mts, para tener con los TEM y los SEV una mejor aproximación de los espesores de los estratos y poder saber que tan permeables son las capas y poder estimar el diseño del pozo.

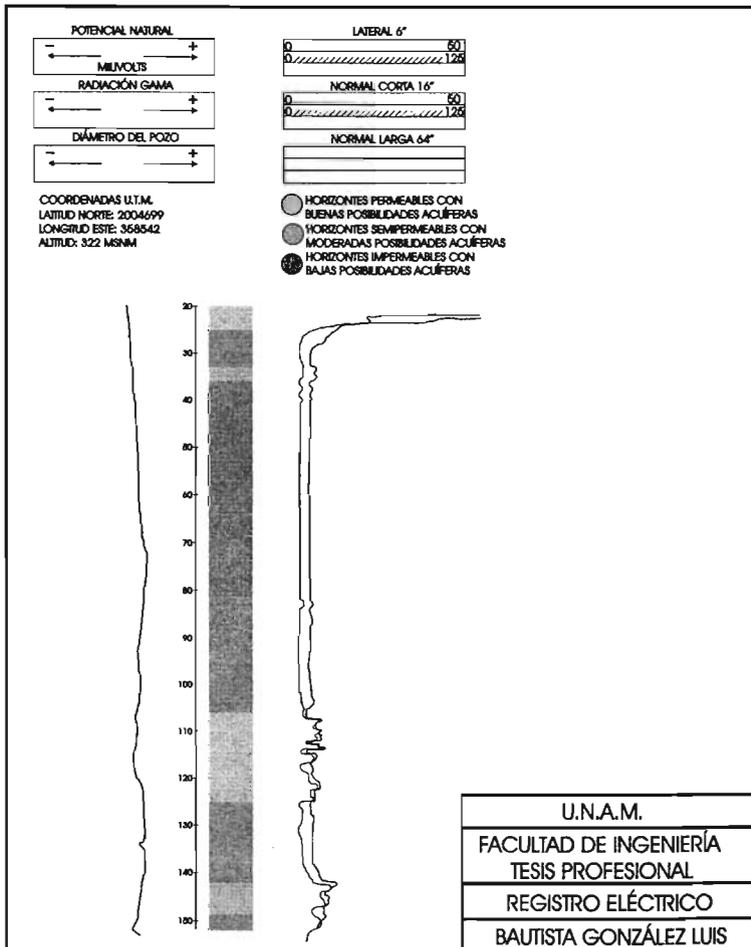


Figura 5.4. Registro Eléctrico del Pozo.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para finalizar este estudio, en la perforación del pozo de prueba, se realizó la toma de muestras de canal a cada 2 m, lo cual sirvió para realizar un estudio de separación de sedimento, para poder establecer de manera óptica las escalas granulométricas a las que correspondan.

Después de realizar en el cual se obtuvo el siguiente resultado en la tabla 5.1.

RADIO EN MM	% ACUMULATIVO TOTAL
32	169.75
16	621.3
8	1019.01
4	1672.98
2	3346.87
1	4894.627
0.5	5655.92
0.25	5977.459
0.125	6229.122
0.0625	6401.4
0.03175	6580.96

Tabla 5.1. Valores de Radio en mm y % Acumulativo Total

Este análisis granulométrico tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas.

Para realizar este estudio, una vez que la muestra ya está disgregada y seca, y que no tenga agregados presentes, se cuarteo entre 100 y 200 gr de muestra, se utilizaron los tamices y los porcentajes que se tomaron mostrados en la tabla 5.1.

Posteriormente de realizar los cálculos totales de total de las muestras, se realizó la gráfica de Radio en mm vs % acumulativo, como se muestra en las figuras 5.5 y 5.6.

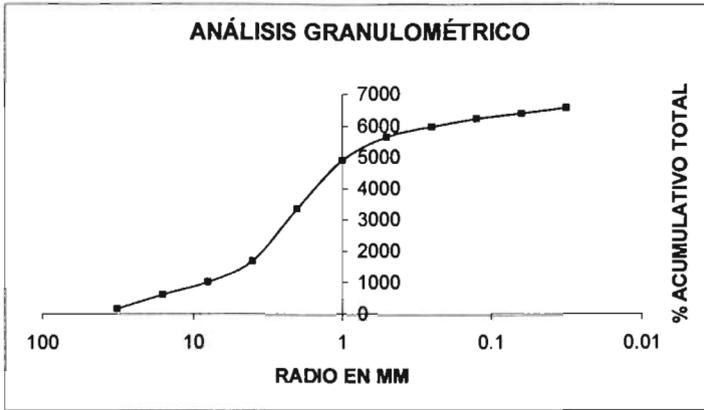
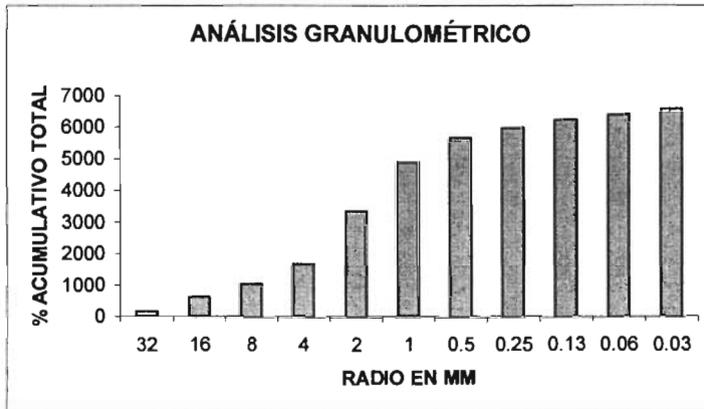


Figura 5.5. Gráfica Logarítmica

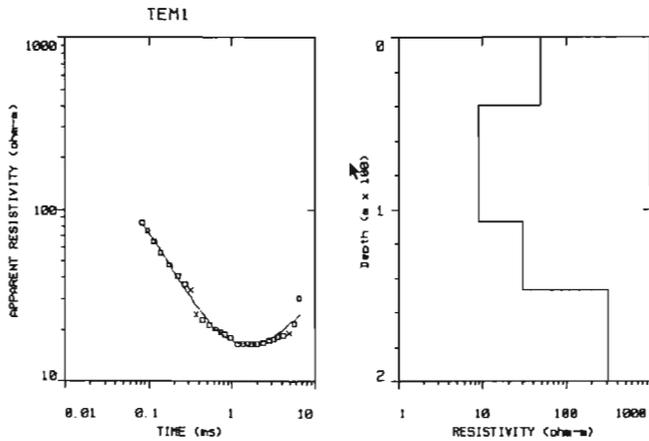
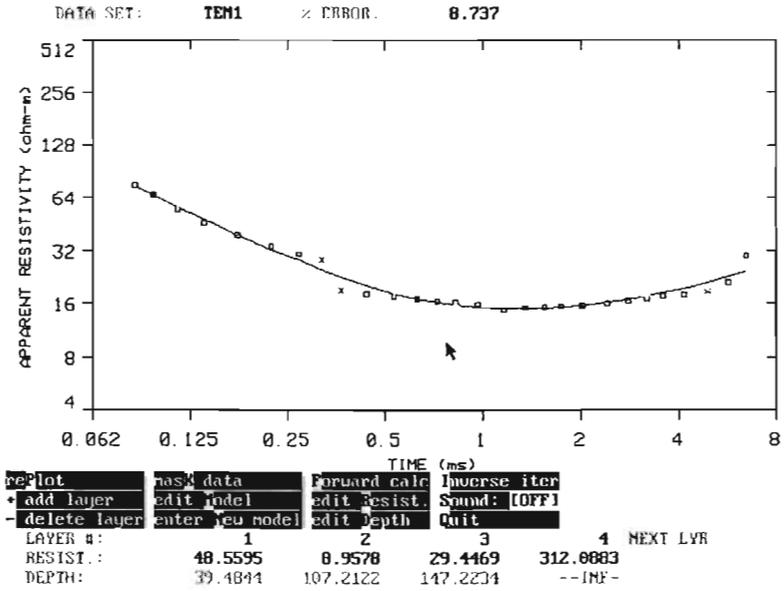


5.6. Gráfica de Frecuencias

Como se puede observar en los resultados arrojados, el material que predomina son los de radio 2 mm a 0.035 mm de arena media a limos finos.

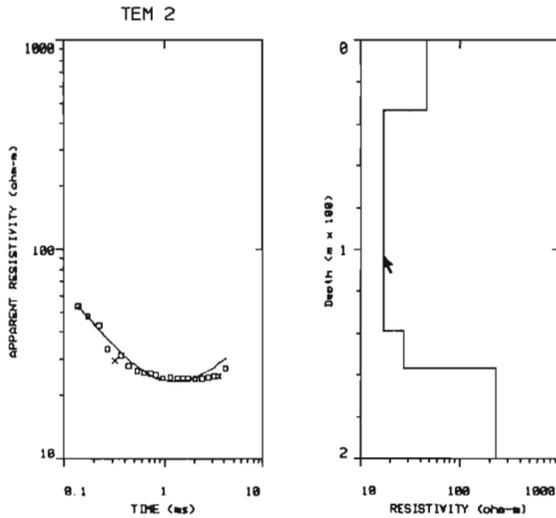
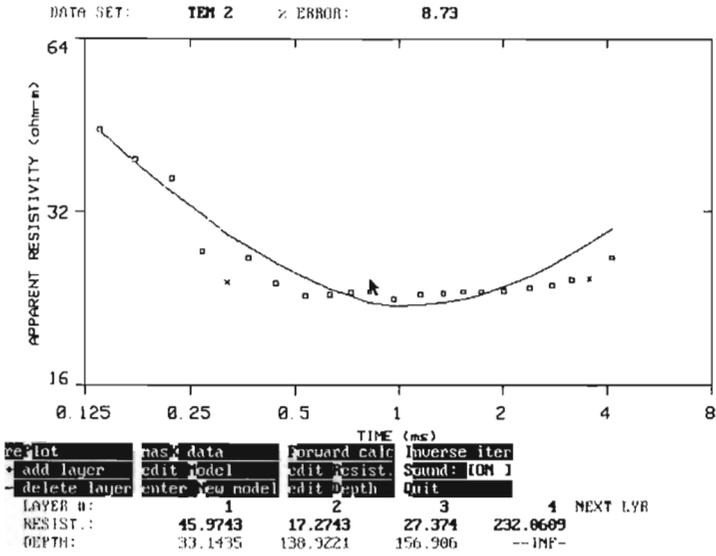
Anexo

TEM 1



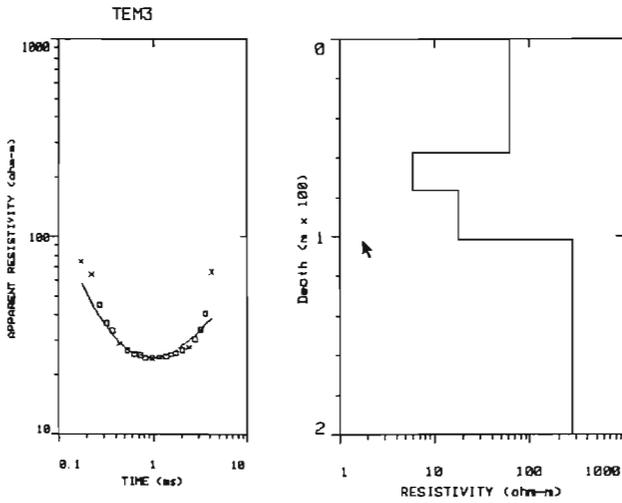
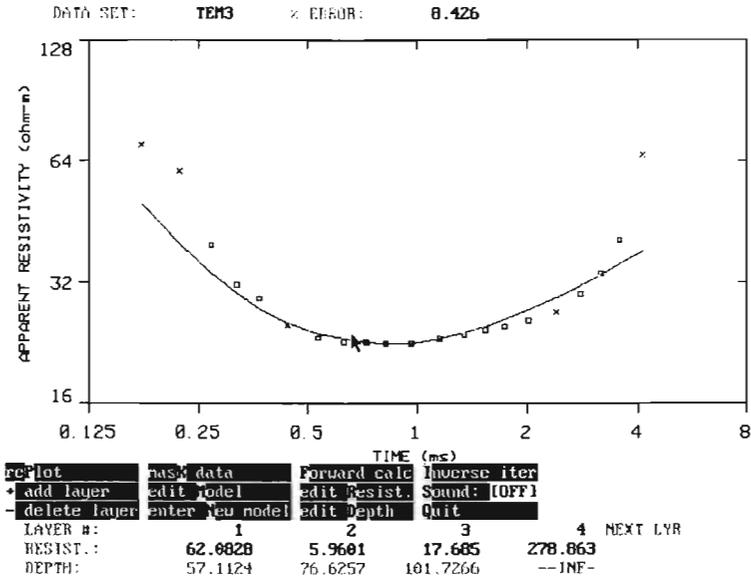
Anexo

TEM 2.



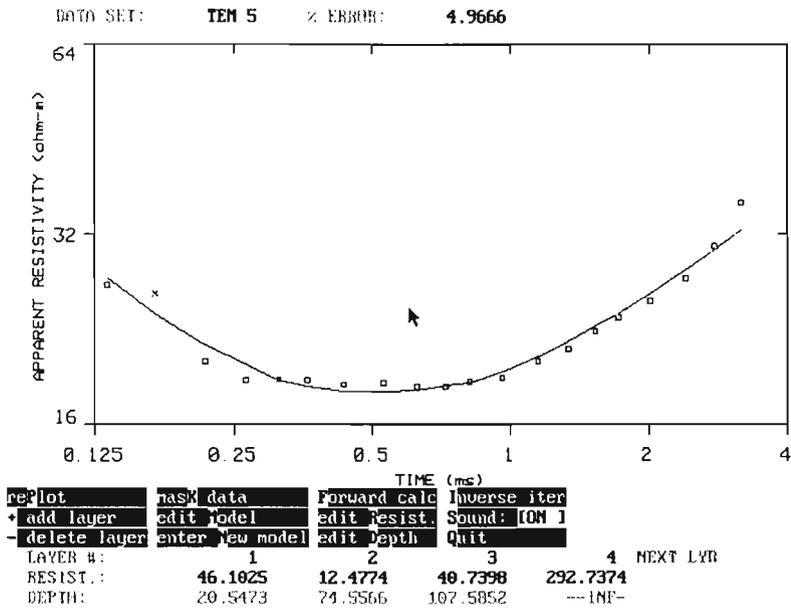
Алехо

TEM 3.

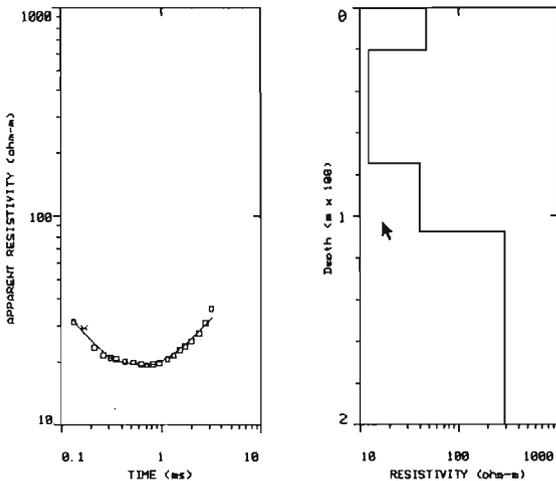


Anexo

TEM 5.



TEM 5



Anexo

TEM 6.

