



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN FÍSICA CON
MENCIÓN EN GEOFÍSICA

**Modelo conceptual geofísico - hidrogeológico del comportamiento de las aguas
subterráneas en el área Oeste del Valle de Tisma, Masaya.**

Presentado por:

1. Br. Kessler Santiago García Hernández. 15046013
2. Br. Jocelyne de los Ángeles Miranda Gutiérrez. 15046926

Tutor: MSc. Lener Sequeira Gómez.

Asesor geológico: PhD. Carlos Rubí Téllez.

Asesor metodológico: MSc. José Ignacio Díaz López.

Managua, Diciembre 2022

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
<i>1.1. Localización del área de estudio</i>	<i>2</i>
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	6
<i>5.1 Objetivo general</i>	<i>6</i>
<i>5.2 Objetivos específicos</i>	<i>6</i>
CAPITULO II	7
5. MARCO REFERENCIAL	7
5.1 ANTECEDENTES	7
6. MARCO TEÓRICO	10
<i>6.1 Marco tectónico Nicaragua</i>	<i>10</i>
<i>6.2 Geología regional de Nicaragua</i>	<i>11</i>
<i>6.3 Geología y geomorfología local del área de estudio</i>	<i>14</i>
6.4 MARCO HIDROGEOLÓGICO	20
6.5 MARCO CONCEPTUAL	23
<i>6.6 Técnica geofísica del método activo</i>	<i>33</i>
6.7 MARCO LEGAL	36
3. PREGUNTAS DIRECTRICES	39
CAPITULO III	40
4. DISEÑO METODOLÓGICO	40
<i>4.1.1. Tipo de estudio</i>	<i>40</i>
6.8 Universo	40
6.9 Muestra	40
6.10 PROCEDIMIENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN	40
CAPITULO IV	47
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47

CAPITULO V	59
6. CONCLUSIONES	59
7. RECOMENDACIONES	61
8. BIBLIOGRAFÍA	62
9. ANEXOS	66
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	76

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación del área de Tisma y vías de acceso.	2
Mapa 2. Marco Geotectónico de América Central.	10
Mapa 3. Provincias Geológicas de Nicaragua	14
Mapa 4. Mapa geológico de la zona de estudio y alrededores	16
Mapa 6. Acuífero N. ° 4: Las Sierras Managua.	20
Mapa 7. Mapa de profundidad de las aguas subterráneas del área en estudio.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Depósitos cuaternarios aluvial (Qal)	18
Figura 2. Afloramiento de tobas.....	19
Figura 3. Tipos de acuíferos según características litológicas.	25
Figura 4. Tipos de Acuíferos en dependencia de la Presión y características hidrodinámicas geológicas.	26
Figura 5. Esquema general del campo electromagnético	34
Figura 6. Equipo de medición utilizado PQWT – TC150.	42
Figura 7. GPS de ubicación.....	43

Figura 8. Cinta de medir.	43
Figura 9. Gráfico de curvas del perfil electromagnético 2.	44
Figura 10. Modelo procesado del perfil electromagnético 2.	45
Figura 11. Modelo de contorno procesado en ArcGIS.	45
Figura 12. Columna Litoestratigráfica del área de estudio.	47
Figura 13. Modelos de perfiles homogéneos PEM 2, PEM 3, PEM 5, PEM 6.	49
Figura 14. Modelos de perfiles electromagnéticos PEM 8, PEM 9, PEM 11, PEM 12.	50
Figura 15. Modelo del perfil electromagnético PEM 13.	51
Figura 16. Perfiles heterogéneos PEM 1, PEM 4, PEM 7, PEM 10.	52
Figura 17. Sección geofísica PEM 1.	54
Figura 18. Modelo conceptual y las condiciones geológicas de las capas del subsuelo.	57
Figura 19. Levantamiento de perfiles en el área de estudio.	66
Figura 20. Levantamiento de datos con el uso del equipo PQWT – TC150.	67
Figura 21. Recopilación de los datos en la base de datos del equipo de medición PQWT - TC150.	68
Figura 22. Modelo de elevación utilizando datos del satélite ALOS PALSAR.	69
Figura 23. Ficha informativa de los datos utilizados en la columna litoestratigráfica.	70
Figura 24. Propiedades físicas de los distintos tipos de suelos según la clasificación alemana.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Método utilizado por el equipo de medición.	33
Tabla 2. Parámetros técnicos del equipo PQWT - TC150	35
Tabla 3. Indicador geológico en función del potencial eléctrico.....	56
Tabla 4. Datos de los perfiles realizados.	72

ÍNDICE DE FORMULAS

Ecuación 1. Ley de Faraday	30
Ecuación 2. Ley de Ampere	30
Ecuación 3. ley de Flujo Magnético.....	30
Ecuación 4. Ley de Coulomb	30
Ecuación 5. Método AMT	31
Ecuación 6. Profundidad de Exploración	31

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada principalmente a **Dios** por ser mi apoyo, mi guía, mi soporte en toda esta trayectoria, por brindarme sabiduría y fortaleza para seguir adelante en los momentos de debilidad y así cumplir con esta meta.

A mi madre Tamara Gutiérrez quien a lo largo de la vida ha sido mi apoyo incondicional, mi ejemplo a seguir mujer luchadora y amorosa, por sus consejos de seguir adelante y no darme por vencida, siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas.

A mi padre Deglis Miranda quien me enseñó que la vida no es fácil, que se debe continuar y mirar hacia el futuro.

A mi hijo mi razón de vivir, mi mayor orgullo y mi impulso en mi día a día para superarme, mi motivación para concluir esta etapa de mi vida, gracias por tus besos y abrazos que me reconfortan en los momentos de debilidad.

A mi familia que me han instruido de distintas maneras, por sus aportes invaluable que me servirán a lo largo de mi vida.

A mi profesor Francisco Guzmán Pasos, sus palabras siempre fueron sabias, los conocimientos impartidos por usted los llevare conmigo en mi vida profesional. Gracias por su paciencia, su dedicación y perseverancia, estaré eternamente agradecida por enseñarme que lo que se empieza debe finalizarse con compromiso.

Jacelyne de los Ángeles Miranda Gutiérrez

DEDICATORIA

Les dedico este trabajo monográfico a:

- Primeramente, a Dios:

Por su infinita misericordia, sin su ayuda no hubiese sido posible este logro en mi vida el terminar la carrera universitaria, por darme la sabiduría y las fuerzas para seguir adelante.

- A mis padres y Hermanos:

Por su apoyo incondicional durante estos años de estudios, por aconsejarme siempre, por darme ánimos para seguir adelante. Le doy gracias a mis padres por ser la persona que soy actualmente y por todo su esfuerzo que han puesto para que culmine mi carrera. A mis hermanos por estar siempre conmigo apoyándome. Los quiero mucho.

- Al MSc. Lener Sequeira:

El tutor de esta investigación, por su paciencia, disposición y por todo el tiempo que dedico.

- A MSc. José Ignacio Díaz López:

Asesor metodológico por su tiempo, su apoyo, la paciencia y dedicación que ha tenido para que podamos llevar a cabo la elaboración de la tesis.

- A personas especiales:

Compañeros y amigos que siempre me estuvieron apoyando para lograr coronar esta carrera.

Gracias

Kessler Santiago Garcia Hernández

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos una familia maravillosa, quienes han creído en nosotros dándonos el ejemplo de motivación, humildad y sacrificio, gracias al padre celestial por la oportunidad de terminar la carrera en los tiempos de él.

*“Más gracias sean dadas a Dios, que nos da la victoria por medio de nuestro señor
Jesucristo” 1 corintios 15:57*

A nuestro asesor metodológico Msc. José Ignacio López, sus consejos fueron siempre útiles, formó parte importante de este proceso con sus aportes profesionales que lo caracterizan, gracias por sus palabras de aliento, y sus llamados de atención cuando eran necesarios, por estar allí cuando más necesitamos apoyo y brindarnos su amistad.

A nuestro tutor Msc. Lener Sequeira, sin usted este trabajo no se hubiese logrado sus consejos fueron útiles cuando no salían de nuestros pensamientos las ideas para escribir lo que hoy se ha logrado.

A nuestros compañeros que nos brindaron su ayuda, especialmente a Darling Castro por su apoyo y orientaciones.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua por permitirme estudiar y concluir con éxito nuestra carrera profesional.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

Managua, 22 de Noviembre del 2022

MSc. Francisco Espinoza Martínez

Director

Departamento de Física

UNAN-Managua

Estimado Director:

Por este medio le informo que he revisado el documento de tesis "*Modelo conceptual geofísico - hidrogeológico del comportamiento de las aguas subterráneas en el área oeste del Valle de Tisma, Masaya*", elaborado por los bachilleres Kessler Santiago García Hernández (Carnet No. 15046013) y Jocelyne De Los Ángeles Miranda Gutiérrez (Carnet No. 15046926) de la carrera Licenciatura en Física con mención en Geofísica.

García y Miranda han integrado al documento las observaciones indicadas por los revisores, el asesor y mi persona, por tanto, solicito de su parte la aprobación correspondiente si así lo considera para que se continúe con la etapa de predefensa correspondiente.

Sin más a que referirme le saludo cordialmente.

Lener Sequeira Gómez

M.Sc. Geofísico e Hidrogeólogo

Docente de la Facultad de Ciencias e Ingenierías

C. c. Archivo
Estudiantes

ACRÓNIMOS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería

MARENA: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

JICA: Japan International Cooperation Agency

PEM: Perfiles Electromagnéticos

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El Río Tipitapa constituye una cuenca hidrográfica denominada Subcuenca Tisma, que es la principal fuente de drenaje entre los dos lagos. Esta forma un ensanchamiento y acumulación hídrica significativa en el sitio denominado Charco de Tisma cercano al pueblo del mismo nombre. Permanece varios meses desbordado inundando áreas llanas del sector (INETER, 2011). La cuenca hídrica del Río Tipitapa se encuentra en la cuenca hidrográfica No. 69, presenta una extensión de 618 km², cuyo drenaje principal desemboca en el Lago Cocibolca, ubicado dentro de una zona predominantemente agrícola y ganadera de gran importancia económica para el país. La agricultura hace uso tanto de las aguas superficiales como subterráneas para la irrigación de cultivos, entre los que destacan plátano, arroz y pastizales.

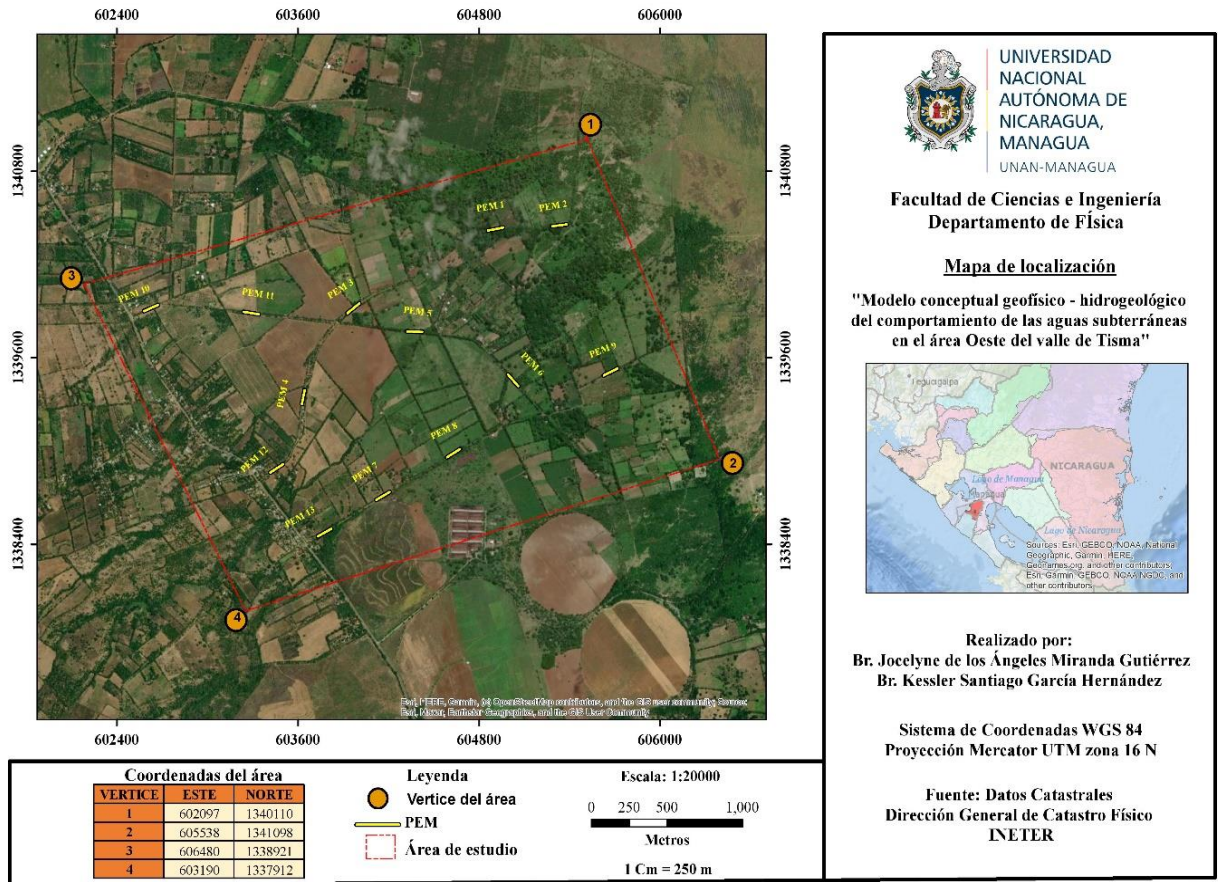
La parte Sur de la cuenca Tisma abarca una serie de humedales (SITIO RAMSAR N° 1141), ubicados entre Managua y Granada (Ilustración 1); con un área de 16,850 ha. Son ecosistema asociado con la orilla noroeste del Lago de Nicaragua. Estos proveen agua para regar el pasto del ganado, cultivo de arroz, e irrigación, recargar los acuíferos, regula inundaciones, retiene los sedimentos, contaminantes y abriga una cantidad de aves migratorias. (GTH-NI, 2002). Sin embargo, en el período seco se observa disminución del caudal por la disminución del nivel del Lago Xolotlán. Esto provoca la necesidad de utilizar más el riego desde las fuentes subterráneas que de las superficiales (INETER, 2011).

En la presente investigación se pretende ubicar geográficamente las anomalías electromagnéticas de los sitios favorables para la perforación de pozos en base en los resultados de la prospección geofísica y la información hidrogeológica recopilada.

Con la construcción del modelo conceptual geofísico – hidrogeológico se determina en el área Oeste del Valle de Tisma en Masaya la distribución geométrica de estratos permeables y no permeables en profundidad, a partir de mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias en perfiles geofísicos regularmente distribuidos.

1.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Mapa 1. Ubicación del área de Tisma y vías de acceso.



Nota: Mapa de ubicación del área de estudio y perfiles electromagnéticos realizados.

El municipio de Tisma se sitúa en el Departamento de Masaya. Cuenta con una superficie de 126.17 km², con una población de 12,697 habitantes, con una altitud de 50 m.s.n.m. El municipio de Tisma limita al Norte con el municipio de Tipitapa, al Sur y Oeste con el municipio de Masaya y al Este con el municipio de Granada (Mapa 1) entre las coordenadas 12° 04' latitud Norte y 86° 01' latitud Oeste. La cabecera municipal está ubicada a 36 kilómetros de la capital de Managua (ENACAL, 2020).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Caracterización del problema

Actualmente la escasez de agua se encuentra entre los principales problemas que deben enfrentar muchas sociedades, el uso del agua ha crecido a un ritmo superior al doble de la tasa de crecimiento de la población durante el último siglo, y aunque no existe la escasez hídrica global como tal, un número en aumento de regiones se encuentra en una situación crónica de faltante de agua. (Ballesteros, Arroyo, & Mejía, 2015).

Aunque la disponibilidad general de agua se considera que ha permanecido relativamente constante, la disponibilidad per cápita ha disminuido conforme la población y la actividad económica centroamericana (agricultura, industria, turismo, urbanización, etc.), se ha expandido. Al mismo tiempo, la contaminación ha degradado la calidad del agua en muchos ríos, lagos y fuentes subterráneas y ha reducido efectivamente el suministro de agua en muchas comunidades. (Jiménez, 1999).

El agua subterránea, es un suministro de agua vital para la humanidad. Las aguas subterráneas proporcionan agua potable en su totalidad o en parte para hasta el 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego. La gestión sostenible de las aguas subterráneas es el núcleo de la solución. La comprensión científica y la gestión adecuada de las aguas subterráneas es esencial, porque las aguas subterráneas pueden aliviar el problema. (The Groundwater Project, 2022).

Delimitación del problema

Nicaragua, es un país rico en recursos naturales, sin embargo, la degradación ambiental provocada tanto por efectos antropogénicos como naturales ha venido afectando la calidad de los mismos, en particular a los recursos hídricos superficiales y subterráneos generando escasez del vital líquido, según (Centro Humboldt, 2015), aproximadamente el 46% de la población nicaragüense, se encuentra afectada debido a la ausencia de este recurso.

En Tisma, municipio de Masaya se ha observado escases de agua apta para el desarrollo y la supervivencia de los habitantes, entre las distintas causas que pueden estar generando esta necesidad, se ha detectado la contaminación del agua, la deforestación desmedida, el incremento poblacional, entre otras.

Los efectos que provoca la escasez del recurso hídrico suelen afectar a la salud, la disminución del desarrollo económico en el sector agrícola, ganadero y agroforestal, además restringe la calidad de vida de los pobladores de la comunidad.

Formulación del problema

A partir de la caracterización y delimitación del problema antes expuesta, se plantea la siguiente pregunta: ¿Es posible mejorar el abastecimiento de agua para el consumo humano y el desarrollo de actividades agroganaderas e industriales a partir de la construcción de un modelo conceptual geofísico – hidrogeológico en el área objeto de estudio que permita la ubicación de zonas potencialmente favorables para la perforación de pozos?

Sistematización del problema

- ¿Cómo caracterizar las formaciones geológicas y / o el subsuelo en el área de estudio a través de un modelo conceptual geofísico – hidrogeológico con base en mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias?
- ¿Para qué determinar la distribución geométrica de estratos permeables y no permeables en profundidad a partir de mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias?
- ¿Qué criterios permiten determinar la condición de permeabilidad o no permeabilidad de la secuencia de estratos en el área?

3. JUSTIFICACIÓN

El agua subterránea, es una de las fuentes de recursos hídricos más importantes a nivel mundial que solventa las necesidades del vital líquido tanto de consumo humano, tareas básicas del hogar, desarrollo económico, entre otras. En los últimos años el estudio de acuíferos ha tomado relevancia ya que ellos contienen más del 95% de agua dulce disponible en el planeta, además son menos susceptibles y vulnerables a las secuelas de la contaminación. Por lo tanto, mediante la presente investigación se pretende ubicar geográficamente las anomalías electromagnéticas de los sitios favorables para la perforación de pozos en base en los resultados de la prospección geofísica y la información hidrogeológica recopilada.

Con la realización de este estudio, se aportará información geofísica-hidrogeológica implementando el método electromagnético en el área de Tisma, la cual puede ser utilizada por las autoridades competentes para tener mejor comprensión y conocimiento del comportamiento del suelo en la zona y llevar a cabo la ejecución de proyectos, que permita el aprovechamiento del agua para suplir necesidades de usos vitales para población en general, mejorando así la calidad de vida de los ciudadanos, favoreciendo a la productividad agrícola, ganadera e industrial, contribuyendo así a su desarrollo económico y mejorando su medio de subsistencia.

4. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Construir un modelo conceptual geofísico - hidrogeológico que permita la ubicación de sitios con potencial hídrico favorables, para la perforación de pozos en el área Oeste del Valle de Tisma, Masaya.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una columna estratigráfica según las propiedades del subsuelo y la información piezométrica existente.
- Ubicar geográficamente las anomalías electromagnéticas de los sitios favorables para la perforación de pozos en base en los resultados de la prospección geofísica y la información hidrogeológica recopilada.
- Determinar en el área Oeste del Valle de Tisma en Masaya la distribución geométrica de estratos permeables y no permeables en profundidad, a partir de mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias en perfiles geofísicos regularmente distribuidos.

CAPITULO II

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ANTECEDENTES

Según (Mejías, Jégat, Mora, & Linares, 2011), “Modelo hidrogeológico conceptual para la evaluación del acuífero de la planicie del río Motatán”, exponen en su trabajo la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero ubicado en la planicie aluvial del río Motatán, que se localiza al occidente del país, con superficie aproximada de 1.462 km². Ese modelo permitió obtener las reservas permanentes y, luego se hizo uso de ella para la obtención del modelo matemático, con el que se lograron modelar escenarios de explotación.

De igual manera (Arriola Picado, 2012), “Modelamiento numérico de la dinámica de flujo subterráneo del acuífero de Tisma, para evaluar la conectividad entre los lagos Xolotlán y Cocibolca”, en su investigación el área de estudio abarca principalmente al acuífero interlagos de Tisma aproximadamente 15 km al este de Managua, entre el área de descarga del Lago Xolotlán y Cocibolca, en la Depresión Nicaragüense, que pertenece a la cuenca hidrológica 69 del Río San Juan, una de las más importantes del país por su extensión y potencial hidrológico. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio se centra en determinar la dinámica de flujo subterráneo entre los Lagos Xolotlán y Cocibolca utilizando un modelo matemático.

Se determinó que la disminución de la recarga y los incrementos del nivel del Lago Xolotlán provoca un aumento de la cuña de transición entre los dos cuerpos de agua el Lago Xolotlán y el acuífero, lo que aumentaría el riesgo de contaminación de agua del lago. La implementación del modelo matemático como herramienta de estudio ha permitido conocer el comportamiento del flujo de agua subterránea y así determinar que en las condiciones actuales no hay contaminación del acuífero, pero si hay un flujo constante del río Tipitapa al lago Cocibolca que aumentaría este riesgo.

Así también (Perdomo Melo & Rojas Leguizamón , 2017), “Modelo hidrogeológico conceptual a partir de información secundaria, en los alrededores del centro urbano del municipio de Chiquinquirá”, en su documento presentan un proyecto para el ejercicio y ayuda para la gestión integrada del recurso hídrico en este caso subterráneo en las zonas del municipio de Chiquinquirá departamento de Boyacá. El estudio se enfocó hacia la determinación de la potencialidad de recarga de agua a los acuíferos, al mismo tiempo se cuantificó la cantidad de recurso hídrico disponible como recarga potencial hacia los acuíferos, el cual servirá para subsanar los déficits acaecidos por temporadas de sequías.

Este modelo se llevó a cabo a partir de datos como; mapas geológicos, datos climatológicos de las estaciones meteorológicas, datos de pozos perforados para captación de agua, cobertura vegetal, tipos de suelo, pendientes del terreno y datos geográficos. A partir de estos datos se realizaron mapas con las propiedades y características necesarias, expresándolas de manera numérica para poder cuantificar la influencia de estas en el balance hídrico del subsuelo, Se clasificaron e identificaron las Formaciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, realizando un modelo de flujo del agua subterránea, así como de superficie, a partir del estudio de la geomorfología y la geología estructural de la zona.

En el mismo contexto (ENACAL , 2019), “Estudio geofísico de tomografía eléctrica en Tisma municipio de Tipitapa. Managua”, en su informe demuestra que la secuencia litológica en el área en general de estudio consiste en Cuaternario residual Qr que comprenden en: Depósitos limo arcillosos color café, Cuaternario volcánico Qv en: Depósitos volcánicos y flujos piroclásticos indiferenciados con predominio de arenas gruesas color café, Formación Las Sierras TQps (Arenas gruesas, gravas, y arenas finas color gris) y por último la formación Tipitapa MPT que constituye el basamento hidrogeológico del área con relieve irregular. Más o menos a partir de los 155 metros de profundidad; en el área se manifiestan flujos hidrotermales.

Además (Sanchez Aleman , 2020), “ Modelo conceptual de flujo de aguas subterráneas de la Subcuenca II, cuenca sur del lago de Managua”. En su informe expone que la investigación abarca un área delimitada de 179,21 km² aproximadamente, perteneciente a la Subcuenca II, Cuenca Sur del lago de Managua, la cual se encuentra en la cuenca regional Rio San Juan.

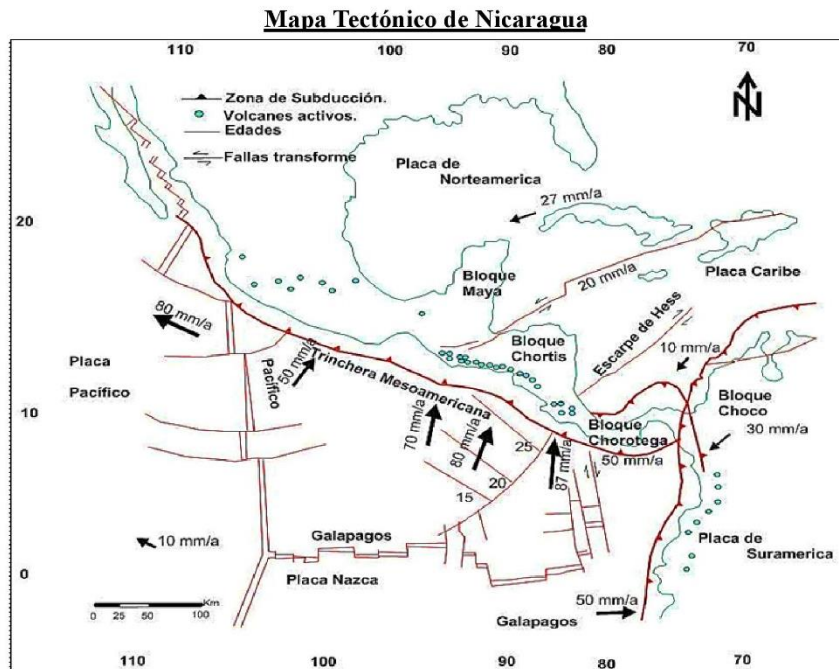
Para este trabajo investigativo se tomó como fuente primordial la recopilación de información geológica e hidrogeología del área, lo cual permitió establecer un modelo hidrogeológico para el área de estudio. Mediante el método electromagnético en campo de exploración geofísica para localización de aguas subterráneas que permitió fundamentar los datos obtenidos para dicho modelo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 MARCO TECTÓNICO NICARAGUA

Centroamérica se encuentra localizada en el frente de un borde convergente destructivo, formado por la subducción de la placa Coco bajo la placa Caribe, (ver Mapa 2). En su extremo Norte se ubica también la placa de Norte América, separada de la placa Caribe por el sistema de fallamiento transcurrente sinistral denominado Polochic-Motagua; y en el extremo Sur se encuentra la placa Nazca la cual está separada de la placa Caribe por la zona de fractura de Panamá o también conocida como fallamiento transcurrente dextral, formando un punto triple con las placas Caribe y Coco. Como resultado directo de la interacción de placas, la región Centroamericana es una de las zonas más sísmicas del planeta. (Denyer, 2006).

Mapa 2. Marco Geotectónico de América Central.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Física

"Modelo conceptual geofísico - hidrogeológico
del comportamiento de las aguas subterráneas
en el área Oeste del valle de Tisma"

Fuente: (Frischbutter, 2001)

Nota: Mapa tectónico de la región centroamericana. Fuente: (Frischbutter, 2001)

Nicaragua, se localiza en un ambiente tectónico de convergencia, donde la Placa Cocos subduce bajo la Placa Caribe formando la Trinchera Mesoamericana. La dirección de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe es ligeramente oblicua y subduce con una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 y 220 km. (Protti, Guendel, & McNally, 1994). La subducción oblicua por debajo de Nicaragua, hace que la deformación cortical se acomode mediante una serie de estantería que incluyen fallas laterales izquierdas que golpean al Noreste que delimitan bloques con geometría en dominó, haciendo rotar cada bloque en sentido de las manecillas del reloj a lo largo de la Cadena Volcánica Nicaragüense. (La Femina, Dixon, & Strauch, 2002).

6.2 GEOLOGÍA REGIONAL DE NICARAGUA

La geología histórica de Nicaragua comenzó durante la era del paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica del cuaternario. Durante el paleozoico medio inferior y el mesozoico, América Central conformaba dos grandes provincias geológicas bien definidas. La Septentrional en el Norte y la Meridional en el Sur, culminando ambas en el Norte y Sur de Nicaragua respectivamente.

Geológicamente, la provincia septentrional (que llega hasta la parte Norte de Nicaragua cubriendo las áreas de los departamentos de Nueva Segovia, parte de Jinotega, parte de Zelaya, etc.), representa una corteza continental asentada en rocas metamórficas paleozoicas sobre las cuales yacen rocas sedimentarias del paleozoico, mesozoico, terciario y rocas plutónicas. El terciario fue escenario de actividades volcánicas continentales, durante el gran parte de ella fue cubierta por extensos depósitos de rocas volcánicas.

La Provincia Meridional (que comprende la parte Sur de Nicaragua cubriendo las áreas de los departamentos de Río San Juan, etc.), está constituida por una corteza oceánica cretácica con basamento de rocas ígneas básicas superpuestas por sedimentos marinos y volcánicos del terciario. Durante el paleozoico superior y el mesozoico inferior, el área fue afectada por una orogénesis que causó la emersión de casi toda la América Septentrional. (Rivera, 2004).

En (Hodgson, 1976), se dividió a Nicaragua en 5 provincias geológicas estructurales a como se puede observar en la ilustración 3, diferenciadas por su geomorfología, su estratigrafía, geología tectónica, geología histórica y geología económica.

Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacifico

Esta provincia incluye la cuenca Sandino, se localiza en el margen pacifico de Nicaragua, en la parte occidental de la placa Caribe en el área de antearco del pacifico y se extiende costa adentro hasta el graben, donde se localiza el arco volcánico activo. Se destacan dentro de esta provincia 6 formaciones sedimentarias: (Rivas, Brito, Masachapa, El Fraile, El Salto, Sapoa) y las formaciones volcánicas Las Sierras y Tamarindo. (Kuang, 1971).

Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua

El origen de la Depresión se atribuye a esfuerzos tensionales producidos en el Pleistoceno ocasionados por la subducción de la placa Cocos bajo la placa Caribe, esto también dio lugar a la formación de la Cadena Volcánica Activa del Cuaternario cuando la actividad volcánica emigró gradualmente en dirección de la Fosa Mesoamericana. (Kuang, 1971).

Provincia Geológica Central de Nicaragua

En (McBirney & Williams, 1965), en el estudio de la Historia volcánica de Nicaragua, subdividió las rocas volcánicas de la Región Central en dos grandes grupos y un tercer grupo inferido subyacente, los dos superiores El Coyol y El Matagalpa fueron diferenciados uno del otro por la composición litológica y la geomorfológica (el Coyol con un relieve en mesas y mesetas escalonadas y el Matagalpa con relieves de cerros irregulares u ondulados, de topografía suave, rocas buzantes y deformadas), señalando que estas dos secuencias de rocas tienen grandes extensiones, en todo el área Central - NE de Nicaragua.

Provincia geológica del Norte

Geográficamente esta provincia abarca los departamentos de Nueva Segovia, Madriz y ligeramente el Norte del departamento de Estelí y gran parte del área Central y Norte de Jinotega y Noroeste de Zelaya. Está compuesta por rocas metamórficas consideradas las más

antiguas de Nicaragua, en el área O y SO de la provincia, el complejo metamórficas comprende rocas de bajo grado de metamorfismos tales como mármol, cuarcita, pizarra y otras rocas metasedimentarias. (Hodgson, 2000).

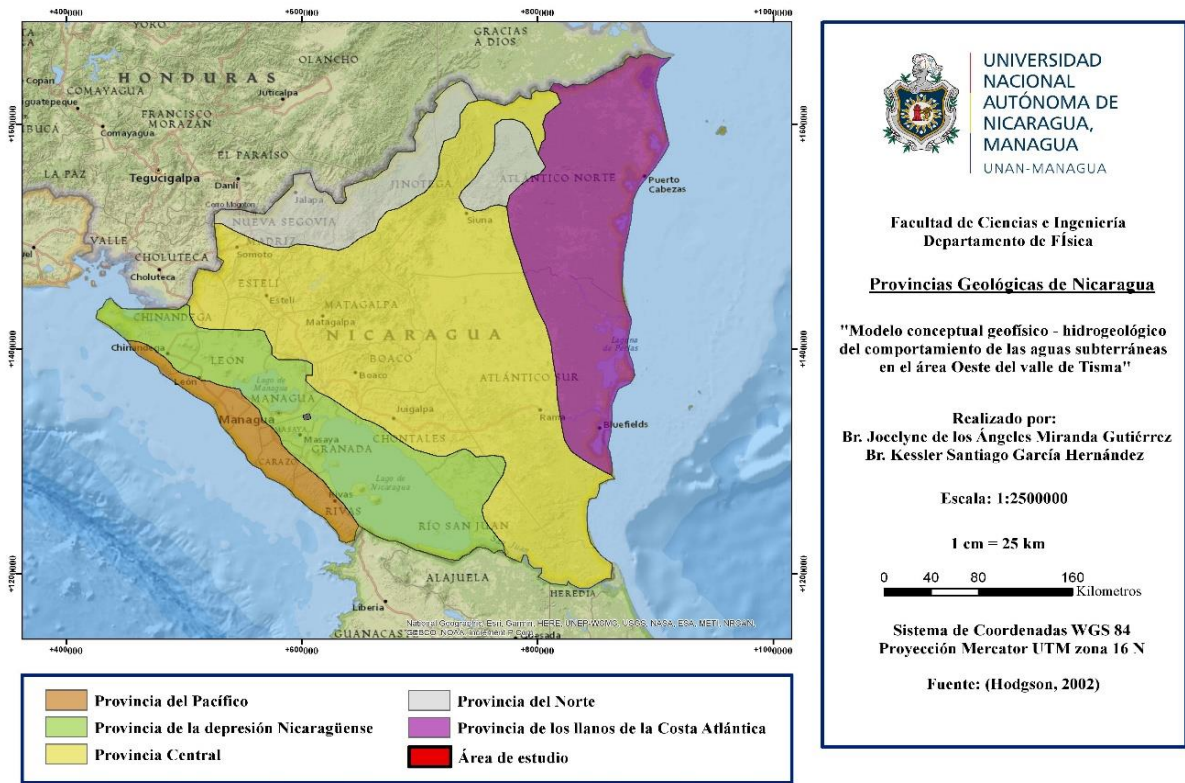
Provincia de los llanos de la Costa Atlántica

Litológicamente está constituida por depósitos aluvionales de grandes espesores y cubren gran parte de la provincia, impidiendo el afloramiento de las rocas sedimentarias que fueron depositadas en la cuenca y en el Banco de Nicaragua. (Hodgson, 2000).

Esta provincia abarca la cuenca de la Mosquitia, la Cuenca Costera y el Banco de Nicaragua. Está comprendida entre el límite de la provincia del Norte, la Central, río Coco en el Norte y río Indio en el Sur, y en el Este el mar del Atlántico.

Los sedimentos recientes están representados por las gravas, arenas y arcillas bajo la formación Bragman's Bluff y aluvionales recientes. Los sedimentos Terciarios antiguos comprenden rocas como areniscas, lutitas y calizas (Formas Terciarias), conformando la parte superior de la cuenca la Mosquitia, también se señalan en el área NO el afloramiento de un gran batolito granitoide que es parte del batolito del Pacífico, la presencia de rocas extrusivas (predominantemente la andesita) ocupando la parte central-oeste de la provincia, se señala también la presencia de rocas sedimentarias mesozoicas y metamórficas. (Hodgson, 2002).

Mapa 3. Provincias Geológicas de Nicaragua



Nota: Provincias geológicas de Nicaragua. Fuente:(Hodgson, 2002)

6.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El pueblo de Tisma se encuentra en el departamento de Masaya el cual es atravesado de Noroeste a Sureste, casi en el centro, por la falla tectónica de la cordillera de Los Maribios, que lo divide en tres zonas geomorfológicas. (ver mapa 4):

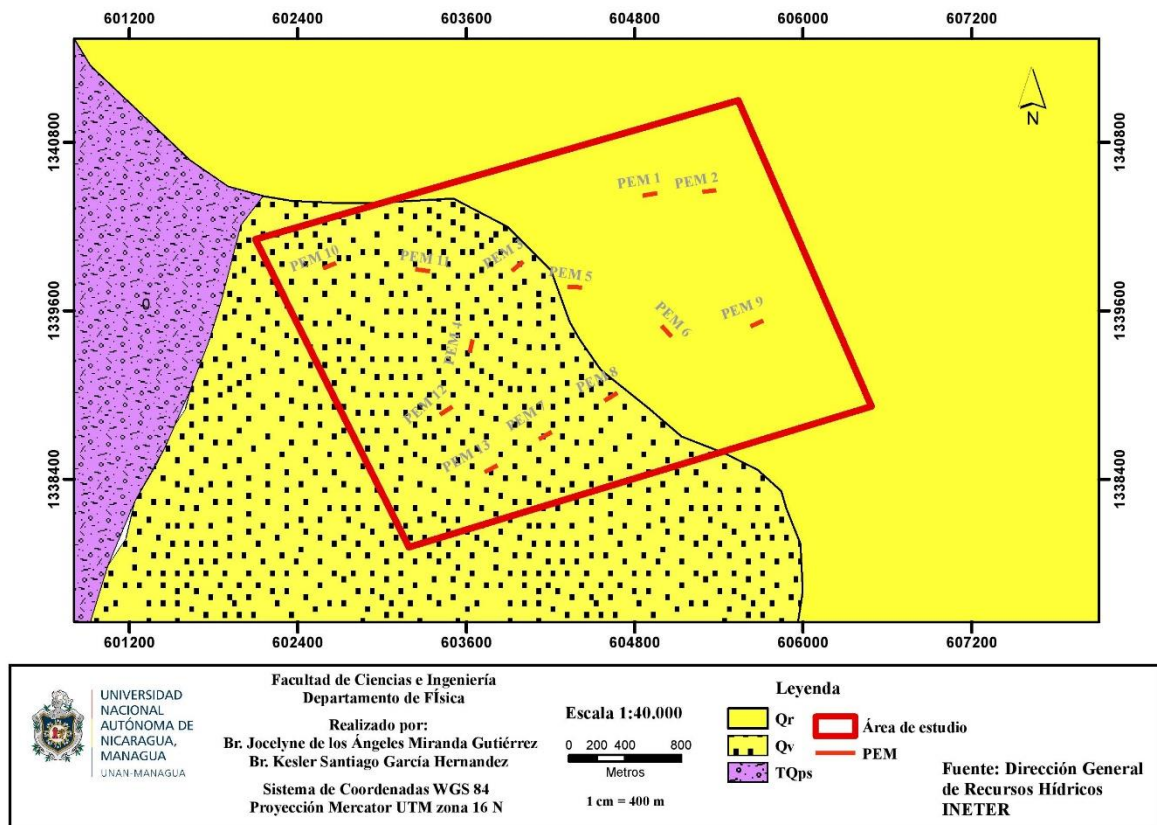
- + Zona norte: Planicie de Tipitapa y Llanura de Tisma: está conformada por la Planicie de Tipitapa y Llanura de Tisma, localizada entre los lagos, Xolotlán y Cocibolca, cuenta con gran biodiversidad y es uno de los 7 sitios RAMSAR de Nicaragua, por ser lugar de descanso de aves migratorias. En esta zona se localiza la parte Norte del municipio de Tisma.

- ✚ Zona central: Cordillera de Los Maribios: es atravesada por la Cordillera de Los Maribios, contiene dos grandes cuerpos de agua, ambos de origen volcánico: la Laguna de Masaya y la Laguna de Apoyo, esta última compartida con el Departamento de Granada. Esta zona formada por lava del volcán Masaya, está rodeada por los cerros Coyotepe, La Barranca y el Volcán Santiago.
- ✚ Zona sur: Formación Geológica las Sierras: se encuentra localizada sobre la formación geológica “Las Sierras”, con relieve abrupto, surcado por arroyos que drenan hacia la laguna de Masaya y su punto culminante es el volcán Masaya. Abarca los municipios La Concepción, Masatepe, Nandasmo, Niquinohomo, San Juan de Oriente y parte de Catarina, sobre la llamada “Meseta de los Pueblos”, con su origen en las extintas calderas volcánicas del complejo volcánico Masaya. Las alturas de la meseta varían de 300 m.s.n.m a 600 m.s.n.m. (Aragón, y otros, 2009).

En el caso del municipio de Tisma, su área está fuera de la fractura volcánica y por lo tanto no es susceptible a la caída eventual de cenizas, en caso de una fuerte actividad volcánica Tisma sería el menos afectado, no así de la ocurrencia de sismos, aunque es poco afectada por fallas. Los suelos alrededor de la laguna son principalmente arcillosos, propensos a la saturación de agua en la estación lluviosa. (MARENA, 1999).

Las unidades geológicas más reconocidas a sus alrededores, enumerados de la más antigua a la más reciente son: Grupo Coyol (Tpcd), Grupo Las Sierras (TQps), Depósitos Cuaternarios aluvial (Qal), Depósitos Cuaternarios residual (Qr). (INETER, 2010).

Mapa 4. Mapa geológico de la zona de estudio y alrededores



Nota: Ilustración de mapa geológico de Tisma. Fuente: INETER.

A continuación, se realiza una descripción por cada formación geológica que se encuentra en la sub unidad hidrográfica iniciando desde la más antigua a la más reciente.

Formación Las Sierras (TQps): En la zona de Masaya, Tipitapa y Tisma se pueden encontrar materiales volcánicos del plio-pleistógeno, denominados el grupo Las Sierras, según resultados de una perforación, el Grupo tiene potencia de 200 m, que se estima sea el espesor mínimo del grupo. (Naciones Unidas,1975).

Cuaternario aluvial (Qal): La composición litológica que conforma esta sedimentación, en sectores con cultivos, es generalmente arenosa color pardo claro a pardo oscuro, de granulometría gruesa en combinación con limos y poca arcilla; así como de la presencia en la matriz, de gravas subangulares a subredondeadas hasta de ¼ de pulgadas de diámetro. En

las secciones costeras cerca de la rivera del lago, la granulometría de la arena es fina color gris y algo de limo, predominando siempre el material de grano medio a fino. Por el sector de Palo Verde, La Montañita, Los Capulines, San Antonio, entre Palo Bonito Santa Rosa y San Pedro, la superficie del suelo es más limo arcilloso que arenoso. (INETER, 2010).

Está ubicada en una zona de inundación que le pertenece al río Tipitapa. Esta son áreas naturales que cuando hay eventos meteorológicos intensos (huracanes, tormentas, etc.) que conllevan a intensas precipitaciones serán siempre zonas propensas a inundarse. Además, hay que tomar en cuenta que una zona baja donde desemboca el río Tipitapa con la unión de sus tributarios hacia el Lago de Managua. Esta zona inundable es posible que llegue hasta donde se encuentren las piscinas.

Debido a esto esta área está llena por completo de depósitos aluviales. En el borde del río se encuentran los depósitos de gravas y al alejarse al borde del río se depositan los de menor tamaño como arenas, limos. Además, sobre el río hay zonas donde se encuentran zonas de humedales formando depósitos de lodos compuestos de limos, arcillas más material orgánico. Se extienden hacia el noreste y sur del paso de Panaloya, y disminuyen su extensión a medida que se aproxima a la ciudad de Granada, conservándose en áreas de las comarcas Malacatoya y San Ramón, cuya escasa elevación en relación con el espejo del lago, las hace vulnerable a inundaciones en períodos de lluvia. (INETER, 2010).

Figura 1. Depósitos cuaternarios aluvial (Qal)



Nota: Materiales del subsuelo perteneciente a los depósitos aluviales. Fuente: Propia.

Depósitos volcánicos del grupo Las Sierras: esta formación se logró observar en afloramientos de rocas posiblemente del tipo flujos piroclástico (ignimbritas y tobas), aglomerados basálticos-andesíticos y toba brechosa según (Comisión Nacional de Energía , 2001) que aflora sobre el río Tipitapa hasta el empalme de San Benito y Las canoas. Estos depósitos son flujos piroclásticos bien soldados, con poca meteorización y con poca erosión a la roca. Según el informe del (JICA, 1993) estos afloramientos corresponden a la serie de Grupo Medio Las Sierras y que (Hradeck & Taleno, 1998) llama basales y constituyen el basamento regional de los depósitos del Pleistoceno reciente que se observa ampliamente y disperso en el área de Tipitapa.

Esta formación comprende una secuencia interestratificada y casi laminar de material piroclástico, las cuales tienen su origen, de las constantes erupciones del complejo volcánico Masaya durante el período plioleocénico entre la fase tardía de la época del terciario y el inicio o temprano del cuaternario.

Está compuesta por una pseudo-estratificación de sedimentos volcánicos, o delgadas capas de piroclastos altamente deleznales, la estratificación se puede observar en las cárcavas que drenan hacia el cauce del Río Tipitapa, en taludes de hasta 3 metros de alto, identificando capas delgadas de arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez muy alteradas en transición a suelo limoso color pardo claro, toba arenosa gruesa, toba limo pomácea blanquecina, arcilla negra plástica y toba arenosa gruesa granular. (INETER, 2010).

Figura 2. Afloramiento de tobas.



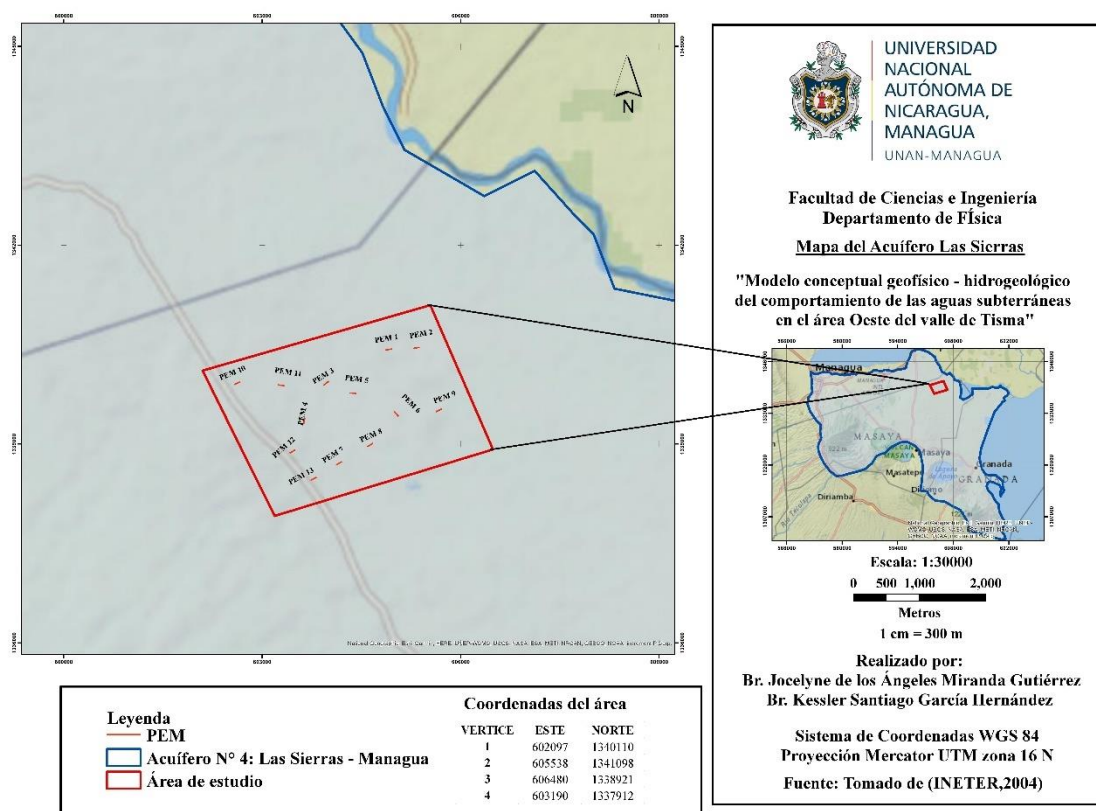
Nota: Tobas perteneciente al Grupo Las Sierras. Fuente: (Comisión Nacional de Energía , 2001).

6.4 MARCO HIDROGEOLÓGICO

El departamento de Masaya se encuentra sobre tres acuíferos: Acuífero N°4, Las Sierras - Managua, se encuentra entre los departamentos de Managua, Masaya y Granada. Masaya tiene el 67.46% de su territorio sobre este acuífero; Acuífero N°10, Meseta de Los Pueblos, entre los departamentos de Carazo y Masaya. El 24.43% del territorio de Masaya se encuentra sobre éste; Acuífero N°5, Nandaime - Rivas, entre los departamentos de Carazo, Granada y Masaya. Este último solo tiene el 8.12% de su territorio sobre el acuífero.

Se encuentra dentro del acuífero N°4 Las Sierras – Managua tal como se aprecia en el Mapa 6 tiene una extensión de 1 049.28 km², abarca parte del departamento de Managua y casi por completo a los municipios de Masaya, Nindirí y Tisma.

Mapa 5. Acuífero N. ° 4: Las Sierras Managua.



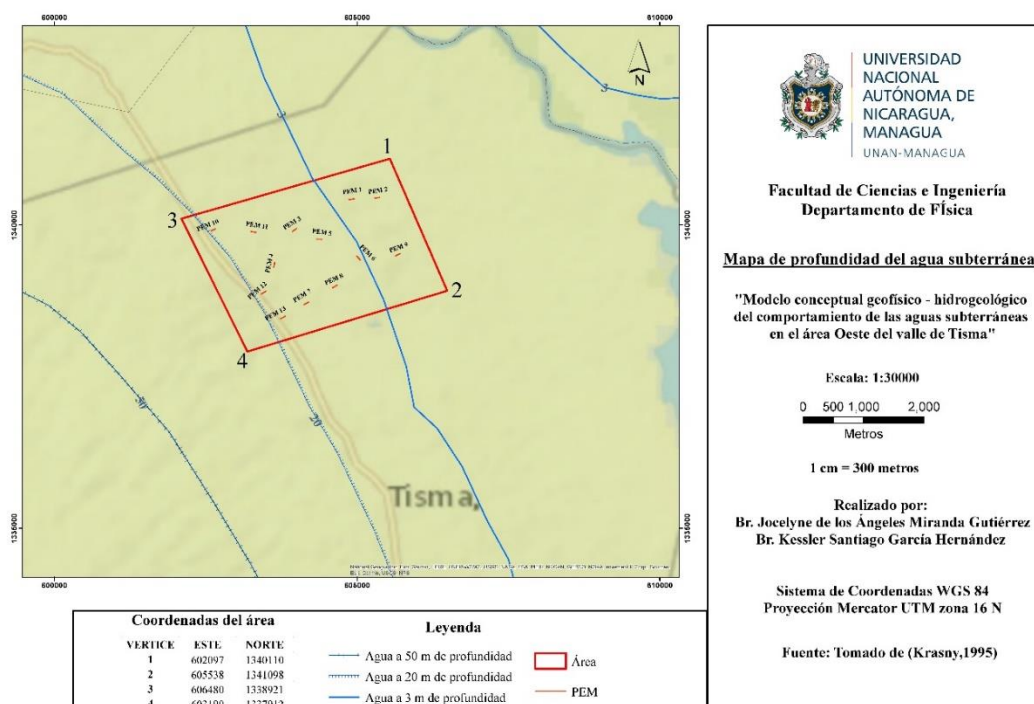
Nota: Ubicación de Acuífero, en el Área de estudio. Fuente: (INETER, 2004)

La cuenca de la Laguna de Tisma es parte del subsistema con las zonas de descarga regionales en el Lago de Nicaragua y el río Tipitapa e incluso la Laguna de Tisma. El Río Tipitapa representa la zona de descarga de aguas subterráneas para dos sistemas acuíferos adyacentes el sistema suroeste y el noreste. Bajo condiciones naturales con el gradiente hidráulico suave generalmente hacia el sur los dos lagos y el Río Tipitapa representan las zonas de descarga natural del sistema noreste. (Aragón, y otros, 2009).

Profundidad del agua subterránea

La profundidad del agua subterránea, referida a la superficie del terreno, varía entre 3 m y 20 m. Las profundidades menores se encuentran en dos zonas: Una de ellas es la franja costera del Lago de Managua y la otra, los sectores costeros del río Tipitapa y las profundidades mayores se registran entre los Laureles y las Banderas. (Krásný & Hecht, 1995).

Mapa 6. Mapa de profundidad de las aguas subterráneas del



Nota: Profundidad de las aguas subterráneas de Tisma. Fuente: Tomado de (Krásný & Hecht, 1995)

Los sistemas acuíferos de la Sub provincia del Graben se extienden en general conforme la dirección estructural de la zona Pacífica, rumbo Noreste-Sureste, formando así las entidades hidrogeológicas. Los sistemas acuíferos se van delimitando así en los subsistemas y unidades hidrológicas (Krásný & Hecht, 1995).

Las formaciones geológicas que constituyen los sistemas de acuíferos son las formaciones Cuaternarias (depósitos aluviales, piroclásticos, aluviales antiguos) y rocas del Grupo Las Sierras, los cuales contienen los principales depósitos de aguas subterráneas. Estas formaciones presentan un medio físico poroso, buena permeabilidad y altas transividades, así como buen rendimiento.

Se sitúa dentro de la sub unidad hidrográfica Tipitapa-Malacatoya, según (Fenzel, 1989) en esta unidad los acuíferos alcanzan espesores de 120 m, transmisividades entre 1500 y 1700 m²/día, los niveles freáticos entre 10 y 20 m aproximadamente.

Los principales materiales que conforman el acuífero de la unidad hidrográfica Tipitapa-Malacatoya, son los depósitos Volcánicos Piroclásticos y materiales del Grupo Las Sierras, constituyendo excelentes acuíferos con extensiones y espesores máximos, ubicados a lo largo de la Depresión Nicaragüense (Fenzel, 1989). Además, las zonas de recarga de los acuíferos se presentan en las partes altas de las unidades geohidrológicas y en las zonas bajas es donde se da la explotación de los acuíferos (JICA, 1993).

Afloran el Grupo Las Sierras Medio, el cual produce grandes cantidades de agua subterránea proveniente de las capas porosas permeables tales como: flujos piroclásticos, depósitos piroclásticos, caídas de escoria con fragmentos de rocas y zonas de fracturas presentes en los aglomerados basáltico-andesíticos compactos, así como toba. Según el (JICA, 1993), dentro del Grupo Las Sierras Medio aflora en las riberas del río Tipitapa un manantial de aguas termales que fluye de un afloramiento perteneciente al Grupo Las Sierras Medio.

6.5 MARCO CONCEPTUAL

Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son aquellas que se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo. El agua se almacena y mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos. (INGEOMINAS, 2011).

Extracción de Aguas subterráneas

Puede extraerse a partir de condiciones dadas espontáneamente por la naturaleza, como es el caso de los manantiales o las descargas subterráneas a un río o al mar. Para extraer el agua subterránea de los acuíferos por medios artificiales, es necesario construir una captación, es decir una instalación que permita poner a disposición del usuario el agua contenida en los acuíferos.

Las captaciones se clasifican de la siguiente manera:

- a.** Pozos: perforación mecánica vertical, por lo regular en forma cilíndrica (diámetro 2 a 16 pulgadas) revestidos de tubería metálica o PVC. Se realizan mediante hincados de tubería o perforación con taladros y se dotan de sistemas de extracción (electrobombas o compresores).
- b.** Aljibes: Receptáculo hallado mediante excavación, que almacena agua subterránea con profundidades pequeñas (5 a 10 metros) y diámetros grandes (hasta 1 metro), cuyas paredes se revisten con ladrillo, tubería de cemento o concreto para evitar su derrumbamiento. Para extraer el agua contenida, se puede hacer uso de bombas manuales o sistema de bombeo muy simples.
- c.** Manantiales: Es una sugerencia del agua que emerge de las rocas y están concentrados en la zona de descarga del agua subterránea, y cuando brota a la superficie, se convierte en un afluente temporal o permanente. Generalmente se

realizan galerías y drenes, las cuales son perforaciones horizontales de baja pendiente de sección circular que interceptan el flujo de agua subterránea en el acuífero, permitiendo que el agua salga a la superficie del terreno por gravedad.

Uso

El agua subterránea se utiliza principalmente para abastecimiento doméstico, uso industrial y riego.

Composición

La composición del agua subterránea depende de:

1. El tipo y características de la roca (tipos de suelo)
2. La composición del agua infiltrada (agua lluvia)
3. Procesos microbiológicos y químicos del suelo

Contaminación

Las aguas subterráneas son contaminadas por las actividades que se desarrollan en la superficie por la acción antrópica y dentro de las cuales sobresalen:

- a) Derrame o fuga de sustancias tóxicas en la superficie o bodegas que posteriormente se infiltran (aceites y grasas, aguas residuales, residuos, químicos, etc.).
- b) Hidrocarburos por filtración de tanques de almacenamiento subterráneo o derrames accidentales.
- c) Sobre explotación de los acuíferos poniendo en riesgo la recarga y normal funcionamiento del mismo.
- d) Inadecuado mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos.
- e) Contaminación biológica de las aguas subterráneas por sobrealimentación o mal funcionamiento de sistemas sépticos o fugas en la red de alcantarillado.
- f) Eliminación, impermeabilización o urbanización de las zonas de recarga de los acuíferos.

Una vez contaminada, la limpieza del agua subterránea es muy complicada por su difícil acceso. Además, el uso indiscriminado de aguas subterráneas puede generar agotamiento del recurso. (INGEOMINAS, 2011)

Acuífero

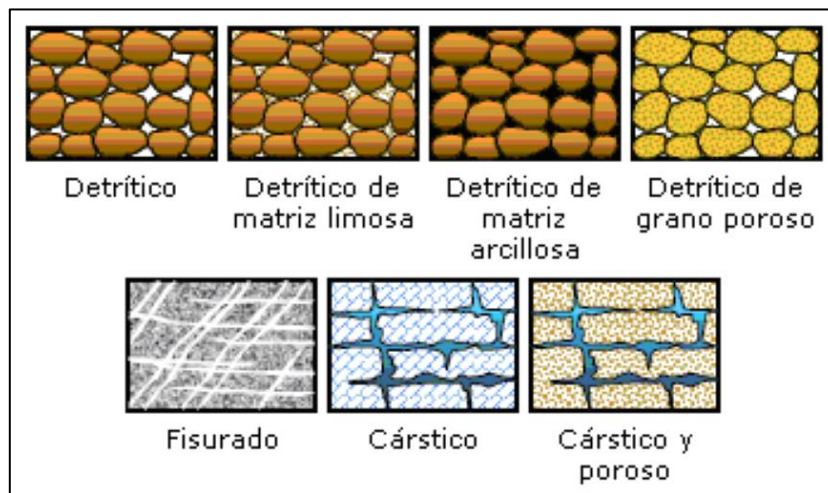
Un acuífero está definido como una formación geológica que está constituida por una o más capas de rocas, capaz de almacenar y distribuir el agua. Está situado en el suelo en la zona denominada “zona saturada”.

Los acuíferos se caracterizan por poseer una permeabilidad y una porosidad determinada, los cuales son los parámetros que definen las características hidráulicas del acuífero, es decir, el movimiento del agua depende del tipo de rocas del suelo (iAGUA, 2021).

Tipos de acuíferos

- Según las características litológicas: detríticos, carbonatados.
- Según el tipo de huecos: poroso, kárstico, fisurado.
- Según la presión hidrostática: libres, confinados y semiconfinados.

Figura 3. Tipos de acuíferos según características litológicas.



Nota: Distintos acuíferos, según sus características hidráulicas. Fuente: (Hispagua , 2021).

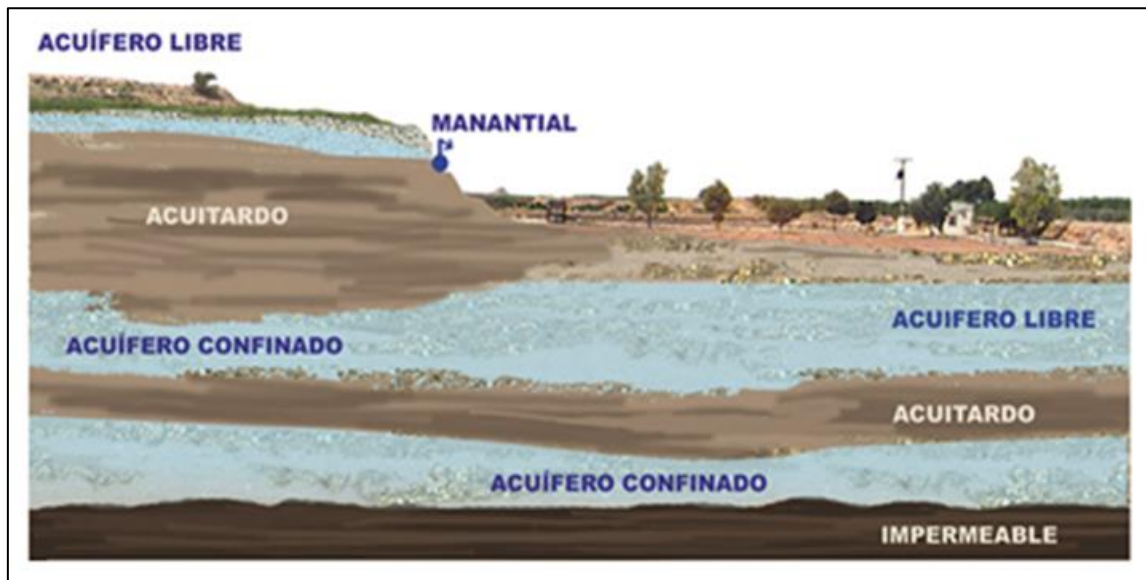
Según las características litológicas

- Detríticos: son acuíferos de rocas o sedimentos detríticos. Su permeabilidad se debe a la porosidad intergranular. Si las rocas están parcialmente consolidadas o cementadas, la porosidad puede ser además de tipo secundario, por fisuración, disolución.

Según el tipo de huecos

- Acuíferos fisurados y/o kársticos: corresponden a acuíferos con rocas carbonatadas como las calizas, o bien rocas con fracturación, poseen permeabilidad debido a grietas y fisuras.

Figura 4. Tipos de Acuíferos en dependencia de la Presión y características hidrodinámicas geológicas.



Nota: Características de Acuíferos. Fuente: (Hispagua, 2021)

Clasificación según hidrogeología

Según la presión hidrostática		
<p>Acuífero libre también llamados no confinados o freáticos. Entre ellos existe una superficie libre y real del agua almacenada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica. Entre la superficie del terreno y el nivel freático se encuentra la zona no saturada. La superficie hasta donde llega el agua, se denomina superficie freática.</p>	<p>Acuífero confinado en ellos el agua está sometida a una presión superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente.</p>	<p>Acuífero semiconfinado estos son más frecuentes que los acuíferos confinados, pudiendo afirmar que se trata de acuíferos a presión, pero en algunas de las capas confinantes son semipermeables, acuitardos.</p>

En función del comportamiento litológico frente a las aguas subterráneas, se diferencian 4 sistemas hidrogeológicos: acuíferos, acuitardos, acuícluidos y acuífugos.

- Según sus formaciones geológicas, los acuíferos pueden considerarse excelentes (formados por gravas limpias), regulares-buenos (formados por arenas limpias, gravas y arenas o arena fina) o pobres (arena fina, arena limosa y caliza fracturada) para el almacenamiento y la transmisión de agua subterránea. Por lo general, este sistema se caracteriza por una elevada capacidad para almacenar, drenar y transmitir el agua.
- Los acuitardos, formados por limos, arenas limosas y arcillas, tienen una elevada capacidad para almacenar agua, pero presentan problemas para su drenaje (capacidad media-baja) y su transmisión (baja capacidad). Resulta un término intermedio entre lo que es un acuífero y un acuícluidos.
- Las formaciones características de los acuícluidos a pesar de tener una elevada porosidad, resultan impermeables al paso del agua (margas, arcilla o piedra pómez). Por ello, es nula su capacidad de almacenamiento, drenaje y transmisión.

- Los acuífugos son formaciones geológicas que no pueden almacenar ni transmitir el agua. Algunos ejemplos son las rocas ígneas que no están ni fisuradas ni fracturadas. (Ecología Verde , 2010).

Propiedades del suelo

Como se ha explicado, el suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva. (Herrera, Barbosa , 2021)

Unidades Geológicas del suelo

Una formación o formación geológica es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes. Es la principal unidad de división litoestratigráfica. Pueden asociarse en unidades mayores (grupos y supergrupos), subdividirse (miembros) o diferenciarse unidades menores significativas dentro de ellas (capas). También se definen en base a que constituyan unidades con suficiente entidad (espesor y extensión lateral) como para que sean cartografiables. (Gonzales, Menendez , y otros).

Discontinuidades del Suelo

Las discontinuidades representan heterogeneidades en el material original. El material a partir del cual se ha formado el suelo no era un paquete homogéneo, sino que tenía niveles con distintas características. En un dato importante desde el punto de vista de la génesis de los suelos ya que las características que diferencian a los horizontes de un suelo pueden ser heredades en parte directamente del material original. (No se deben a los procesos edáficos).

Estratigrafía del subsuelo

La Estratigrafía permite la interpretación, identificación y descripción de la secuencia tanto vertical como horizontal, de las rocas sedimentarias. También se encarga de la cartografía y correlación de estas unidades de roca, determinando el orden y el momento de los eventos que las originaron en un tiempo geológico determinado, en la historia de la Tierra. (Polare & Fraga, 2021).

Unidades Hidrogeológicas

Por unidad hidrogeológica se entiende a uno o varios acuíferos que se agrupan a efectos de conseguir una administración del agua racional y eficaz. Sin embargo, algunos acuíferos se sitúan físicamente entre dos o más ámbitos territoriales de los PHC (planes hidrogeológicos de cuenca), interceptando las divisorias topográficas que los delimitan. (Plan Hidrogeológico Nacional , 2000).

Permeabilidad

Definimos permeabilidad como la capacidad de un cuerpo (en términos particulares, un suelo) para permitir en su seno el paso de un fluido (en términos particulares, el agua) sin que dicho tránsito altere la estructura interna del cuerpo. Dicha propiedad se determina objetivamente mediante la imposición de un gradiente hidráulico en una sección del cuerpo, y a lo largo de una trayectoria determinada.

El concepto permeabilidad puede recibir también las acepciones de conductividad o transmisividad hidráulica, dependiendo del contexto en el cual sea empleado.

Son diversos los factores que determinan la permeabilidad del suelo, entre los cuales, los más significativos son los siguientes:

- Granulometría (tamaño de grano y distribución granulométrica.)
- Composición química del material (naturaleza mineralógica)

Como regla general podemos considerar que, a menor tamaño de grano, menor permeabilidad, y para una granulometría semejante (arenas, por ejemplo) a mejor gradación, mayor permeabilidad. En cuanto al quimismo, y para el caso de arcillas y limos, la presencia de ciertos cationes (Sodio, Potasio) es un factor que disminuye la permeabilidad en relación a otros (Calcio, Magnesio). (GEO SUPORT, 2013)

Método Electromagnético

Los métodos electromagnéticos constituyen el grupo de mayor diversidad tanto en metodologías como en instrumental, resultando ser una herramienta eficaz al momento de abordar una gran variedad de problemas tales como estudios de aguas subterráneas, cartografía de la intrusión marina, detección de vertidos de contaminantes, localización de cavidades, entre otras. La descripción de cualquier campo electromagnético la podemos establecer a partir de las 4 ecuaciones de Maxwell:

$$\text{rot}E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{Ecuación 1. Ley de Faraday}$$

$$\text{rot}E = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad \text{Ecuación 2. Ley de Ampere}$$

$$B = \mu H \quad \text{Ecuación 3. ley de Flujo Magnético}$$

$$\begin{aligned} \text{div}D &= \rho_c \\ \text{div}B &= 0 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 4. Ley de Coulomb}$$

En donde **E** (**V/m**) es el vector intensidad del campo eléctrico.

D (**C/m²**) es el vector intensidad del flujo eléctrico.

J (**A/m²**) El vector densidad de corriente.

H (**A/m**) vector intensidad del campo magnético.

ρ_c (**C/m³**) La distribución de la carga eléctrica.

B (**Wb/m²** o Tesla) vector densidad del flujo magnético.

Método de potencial natural

El equipo PQWT, le llaman al método empleado potencial natural que en verdad se basa en los métodos AMT que han sido estudiados desde los años 70, (Slankis , Telford, & Becker, 1972), en esa época fueron poco utilizados dado que no eran muy precisos por las relaciones señal/ ruido que no se podía mejorar con la tecnología de aquel entonces y no fue hasta años recientes que la electrónica avanzada que se retomó el método.

El principio físico del método PQWT se basa en considerar ondas planas que se distribuyen aproximadamente perpendicular al suelo las fuentes de ondas son efectos de por ejemplo tormentas eléctricas que pueden ocurrir a grandes distancias y que producen corrientes en el suelo estas ondas poseen frecuencias en el rango 1 Hz a 20 KHz de ahí el nombre de audio MT los parámetros de interés se relacionan por: (Rensburg , 2019).

$$\rho = \frac{1}{5f} \left(\frac{E_x}{H_x} \right)^2 \quad \text{Ecuación 5. Método AMT}$$

Dónde ρ es la impedancia resistividad AC, f es la frecuencia de operación, H_y la componente del campo magnético y E_x componente del campo eléctrico.

La profundidad de exploración está dada por:

$$\delta = 503.5 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad \text{Ecuación 6. Profundidad de Exploración}$$

Dado que la componente del campo magnético es estable en la mayoría de los casos para áreas pequeñas, se considera una función constante de E_x .

Aun cuando el equipo PQWT esconde detrás de patentes el procesamiento completo de los datos, por lo que no es muy claro el procedimiento que sigue, se puede asociar un valor de campo eléctrico medio en una frecuencia dada a un valor de resistividad a cierta profundidad.

En este capítulo se describen brevemente los conceptos teóricos más importantes referidos a campos electromagnéticos, los cuales constituyen la base del funcionamiento del equipo PQWT 150 detector de aguas subterráneas. Es posible clasificar este capítulo en dos partes: la primera explica las propiedades electromagnéticas de los suelos. La segunda parte define las ondas electromagnéticas.

1.1. Propiedades electromagnéticas de los suelos: características y relaciones empíricas.

- *Permeabilidad magnética (μ)*

La permeabilidad magnética refleja la presencia del movimiento de las cargas, (Santamarina, 2001). El comportamiento magnético de suelos y rocas depende principalmente de la cantidad de magnetita que posean (o minerales similares como magnetita).

- *Conductividad (σ)*

La conductividad es la medida de la movilidad de las cargas libres ante la respuesta de un campo eléctrico externo (Santamarina, Klein , & Fam, 2001) El paso de corriente eléctrica en un medio se debe al movimiento de cargas (electrones o iones). De esta forma, se pueden distinguir dos tipos de conductividad: electrónica e iónica. La conductividad electrónica se produce en las rocas por el contenido de materiales ferromagnéticos en sus redes cristalinas. Con respecto a la conductividad iónica, se produce en el subsuelo por las disoluciones que rellenan los poros siendo la conductividad más común en los suelos.

- *Permitividad (ϵ^*)*

La permitividad de los suelos depende, al igual que la conductividad, principalmente de la fracción de volumen de agua libre. La permitividad absoluta de un medio se define como un valor de proporcionalidad entre el desplazamiento eléctrico producido por un campo eléctrico inducido, ((Santamarina, Klein , & Fam, 2001).

6.6 TÉCNICA GEOFÍSICA DEL MÉTODO ACTIVO

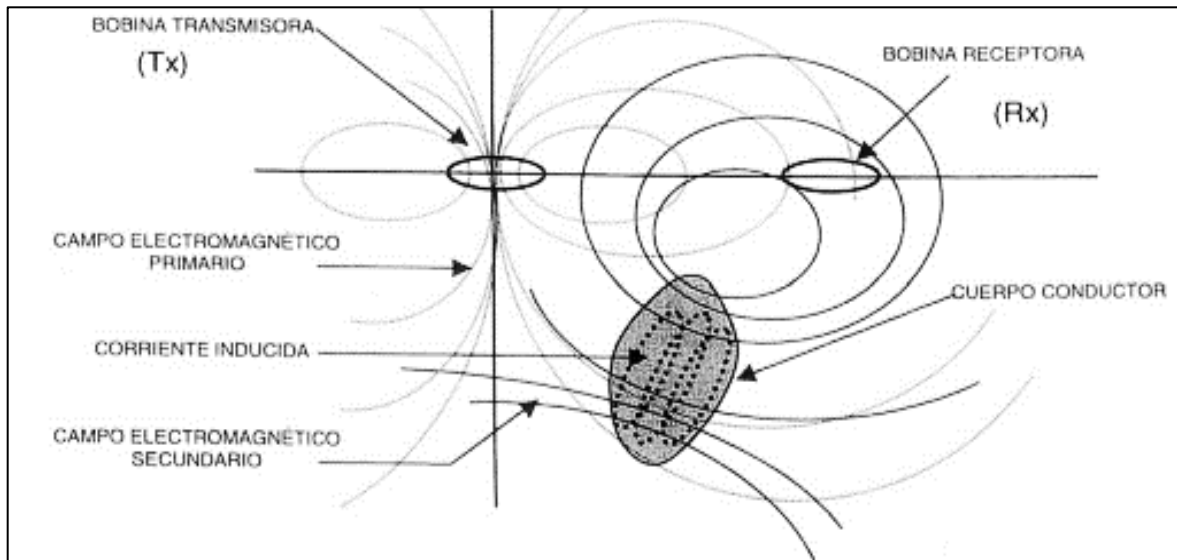
El método electromagnético utiliza ondas electromagnéticas de baja y altas frecuencias. Un breve pulso de energía electromagnética es irradiado por un transmisor, con una frecuencia característica única que puede estar entre 16 y 2 000 MHz. Cuando este pulso alcanza interfaces donde existen diferencias entre sus parámetros electromagnéticos (Davis & Annan, 1989), ocurren fenómenos análogos a los que se dan en sismica cuando cambia la impedancia acústica.

Tabla 1. Método utilizado por el equipo de medición.

Método geofísico	Ensayos derivados	Instrumento	Parámetro físico medido	Propiedad física deducida
Electromagnético	Sondeo electromagnético PEM	PQWT -150	Campo eléctrico natural	Impedancia Resistividad eléctrica

Según la tabla 1, el método electromagnético se encarga de obtener la información del campo eléctrico natural de la tierra en función del potencial eléctrico medido de cada uno de los estratos del subsuelo a través del equipo de medición PQWT-150 detector de aguas subterráneas.

Figura 5. Esquema general del campo electromagnético



Nota: Combinación de Ondas eléctricas y magnéticas. Fuente: (Sorrans Ontiveros, 2003)

Equipo de medición PQWT-TC 150

El detector de agua de mapeo automático PQWT-TC150 se basa en la fuente de campo del campo electromagnético de la tierra y las diferencias en la conductividad de diferentes estructuras geológicas subterráneas, para estudiar la ley de variación del campo eléctrico, componentes a diferentes frecuencias, para estudiar la estructura geológica y los cambios en la estructura geológica, se muestran en tiempo real a través de múltiples curvas. Mapeo automático. El perfil geológico por una tecla funciona fácilmente, deshacerse de los gráficos de computadora complicados.

La estructura geológica y la información específica como acuíferos, fracturas, fallas y cuevas se pueden analizar fácilmente a través del perfil y la curva de mapeo automático en el sitio.

El dispositivo puede ser ampliamente utilizado en diferentes terrenos como llanuras, colinas, montañas, mesetas y cuencas para un análisis rápido de la estructura geológica, cambia y determina la ubicación de los pozos, los acuíferos y la profundidad del acuífero. (Instituto de Equipo de Exploración Geológica de Hunan Puqi, 2006).

El PQWT utiliza una guía de electrodos Wenner que capitaliza la medición de las intensidades del campo electromagnético en voltaje por metro. La máquina envía señales de impulsos electromagnéticos informados de frecuencias masivas que penetran de 0 - 150 m de profundidad.

Tabla 2. Parámetros técnicos del equipo PQWT - TC150

Modelo	PQWT-TC150
Medida de profundidad	0 - 150m
Frecuencia de medición	Frecuencia única, tres frecuencias, 33 frecuencias
Fuente de alimentación	Modelo de batería 26650 * 2pcs # 4000 mAh Batería de litio recargable
Conversión A / D	16 Msps de 1 bits
Rango de medición	0 mV — 2000 mV El instrumento cambia automáticamente el rango
Exactitud de medición	0,001 mV
Canal de medida	Cuatro canales
Unidad de datos de medida	Los componentes del campo eléctrico de diferentes frecuencias del campo electromagnético terrestre ΔV_s (mV)
Ganancia de canal	0 ~ 500,000 veces
Idiomas	Inglés; Español; Francés; Árábica; Ruso; polaco
El consumo de energía	Acerca 4W
Exposición	Pantalla LCD táctil digital de alta definición de 7 pulgadas de grado industrial
Horario laboral	6-8 horas
GW / envío	GW: 8KG, DHL / UPS / Fedex a servicio a domicilio

Nota: características técnicas del equipo PQWT-150

6.7 MARCO LEGAL

Según la Ley N°. 620: “Ley General De Aguas Nacionales” aprobada el 15 de mayo del 2007, para el territorio de Nicaragua, en su Título I: Disposiciones generales, Capítulo I, denominado Objeto y Ámbito de Aplicación, establece que:

Artículo 1. La presente Ley tiene por objeto establecer el marco jurídico institucional para la administración, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible, equitativo y de preservación en cantidad y calidad de todos los recursos hídricos existentes en el país, sean estos superficiales, subterráneos, residuales y de cualquier otra naturaleza, garantizando a su vez la protección de los demás recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente.

Artículo 2. Son objetivos particulares de esta Ley:

- a) Ordenar y regular la gestión integrada de los recursos hídricos a partir de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país.
- b) Crear y definir las funciones y facultades de las instituciones responsables de la administración del sector hídrico y los deberes y derechos de los usuarios, así como, garantizar la participación ciudadana en la gestión del recurso.
- c) Regular el otorgamiento de derechos de usos o aprovechamiento del recurso hídrico y de sus bienes.

Artículo 3. El agua es patrimonio nacional cuyo uso y disfrute se regula por la presente Ley y su Reglamento. Las disposiciones contenidas en esta Ley son de orden público e interés social en todo el territorio Nacional y aplicable a todo recurso hídrico, cualquiera que sea el estado o condición en que se encuentre.

Artículo 4. El servicio de agua potable no será objeto de privatización alguna, directa o indirecta, y será considerado siempre de carácter público. Su administración, vigilancia y control estará bajo la responsabilidad y tutela del Estado a través de las instituciones creadas para tales para tales efectos o de las que se creen en el futuro.

Artículo 5. Es obligación y prioridad indeclinable del Estado promover, facilitar y regular adecuadamente el suministro de agua potable en cantidad y calidad al pueblo nicaragüense, a costos diferenciados y favoreciendo a los sectores con menos recursos económicos.

La prestación de este servicio vital a los consumidores en estado evidente de pobreza extrema no podrá ser interrumpida, salvo fuerza mayor, debiendo en todo caso proporcionárseles alternativas de abastecimiento temporal, sean en puntos fijos o ambulatorios. Tampoco podrán interrumpirse estos servicios a hospitales, centros de salud, escuelas, orfanatos, asilos para ancianos, centros penitenciarios, estaciones de bomberos y mercados populares.

Artículo 6. La presente Ley reconoce el derecho de los Pueblos Indígenas de todo el territorio nacional y el de las Comunidades Étnicas de la Costa Atlántica, para el uso y disfrute de las aguas que se encuentran dentro de sus tierras comunales de conformidad a las leyes vigentes que las regulan.

Cabe destacar que **Título II: De los valores y principios rectores, los instrumentos de gestión, la planificación hídrica y la declaración de utilidad pública**, en su **Capítulo I, Principios Rectores de los Recursos Hídricos** nos indica que:

a) Recurso Estratégico. El agua es un recurso estratégico para el desarrollo económico y social del país. La problemática del agua es un asunto de prioridad nacional y su uso, aprovechamiento eficiente, calidad y las acciones de protección contra inundaciones y sequías, son condiciones necesarias para sustentar de manera sostenible el desarrollo económico y social y de garantizar el abastecimiento básico a las presentes y futuras generaciones.

b) Conocimiento. Es de alta prioridad para el Estado el conocimiento del recurso hídrico del país, como elemento indispensable para la gestión sostenible del recurso. El Estado proveerá

los recursos necesarios para la instalación, operación y mantenimiento de las redes meteorológicas, hidrológicas e hidrogeológicas.

c) Preservación y Defensa. El agua es un recurso vital, limitado, vulnerable y finito cuya preservación y sustentabilidad es tarea fundamental e indeclinable del Estado y de la sociedad en su conjunto. Su acceso es un derecho irrenunciable de todo ser humano.

d) Administración Responsable. El agua es un recurso natural que debe estar protegido y administrado de forma responsable, su acceso permanente y continuo es un derecho intrínsecamente vinculado a la vida. Proveer su suministro para el consumo de las personas representa una máxima prioridad nacional. (ANA, 2007)

3. PREGUNTAS DIRECTRICES

- 1- ¿El modelo geofísico – hidrogeológico proporcionará información para ubicar las anomalías electromagnéticas de los sitios favorables para la perforación de pozos en base en los resultados de la prospección geofísica y la información hidrogeológica recopilada?

- 2- ¿Será posible que con la aplicación del método electromagnético se determine en el área Oeste del Valle de Tisma en Masaya la distribución geométrica de estratos permeables y no permeables en profundidad, a partir de mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias en perfiles geofísicos regularmente distribuidos?

CAPITULO III

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1.1. TIPO DE ESTUDIO

El presente trabajo según el método de investigación posee un enfoque mixto, de acuerdo a las características particulares del estudio es cuasi experimental y según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo (Piura López, 2006). De acuerdo al tiempo de registro de información el estudio es prospectivo, el periodo y secuencia del estudio es transversal y por el alcance y análisis de los resultados el estudio es analítico. (Pineda, Alvarado, & Canales, 1994).

6.8 UNIVERSO

En el presente trabajo de investigación tiene como universo al Municipio de Tisma, departamento de Masaya que cuenta con una población de 12 697 habitantes y una superficie de 126.17 km². (ENACAL, 2020). Se encuentra en el acuífero N°4, Las Sierras – Managua tiene una extensión de 1049.28 km². (Aragón, y otros, 2009).

6.9 MUESTRA

El estudio abarca las comunidades de Las Conchas y El Bálsamo, con una superficie de 4,95 km² y un perímetro de 9,68 km.

6.10 PROCEDIMIENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

Recopilación documental:

En primera instancia se ubicaron los puntos de interés apoyándonos de un modelo de elevación de 12,5 m del satélite Alos Palsar (ver anexo 4) creando una base de datos en el software de geoprocésamiento ArcGIS V 10,5. Durante esta etapa se consultó toda la información de importancia realizada en el área de estudio, investigaciones, tesis y otros estudios realizados a nivel nacional, se procedió a revisar la información de la geología, mapas geológicos, inventario de pozos en el área, transmisividad, entre otros.

Además, se realizaron visitas al centro de documentación CEDOC del departamento de física, el instituto IGG – CIGEO con el objetivo de obtener información de investigaciones realizadas por la institución que enriqueciera la tesis.

También se procedió a realizar una base de datos SIG en el ArcGIS V 10.5, la cual contenía datos geológicos, hidrológicos, estratigráficos, transmisividad, zona de recargas, profundidad de aguas subterráneas, piezometría del área en cuestión, estos tomados de mapa anexados a investigaciones que han sido proporcionados por el INETER.

Concluyendo con la elaboración de una columna estratigráfica mediante la información proporcionada por los docentes, dicha información permitió analizar de manera más precisa los materiales a profundidad.

Trabajo de campo:

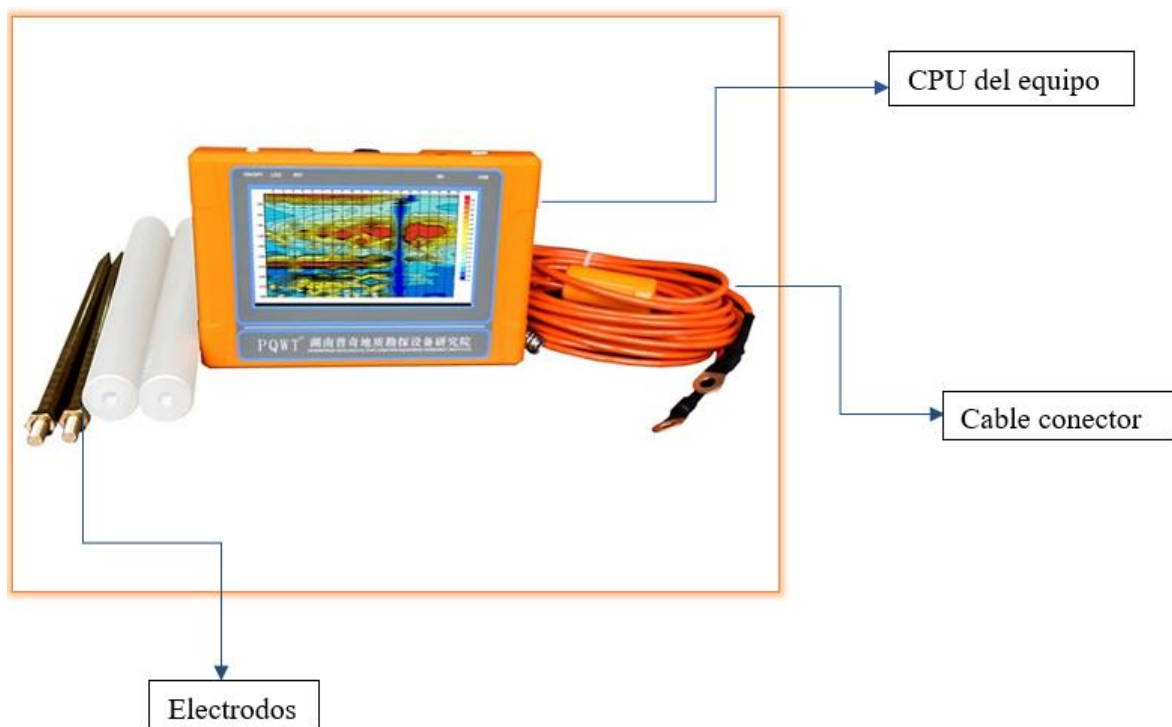
Se realizaron tres visitas en el área de estudio, donde se realizaron 13 puntos previamente ubicados en dirección del flujo de las aguas subterráneas, se procedió a realizar los 13 perfiles de una longitud de 100 m cada uno, y un alcance a profundidad de 150 m para los cuales se hicieron uso de materiales tales como:

- Cinta de medición de 100 m de longitud, se utilizó para medir de manera precisa el espacio entre electrodos y la longitud del perfil.
- GPS de ubicación para la ubicación espacial de los puntos de medición.
- Equipo de medición PQWT – TC150 en función de las frecuencias electromagnéticas, equipo que permite el alcance de datos a profundidad.

Se utilizó la serie PQWT-TC150, con una frecuencia de 40, esto suele dar una precisión de 0,001 mV y ondas hasta una profundidad de 150 m (Instituto de Equipo de Exploración Geológica de Hunan Puqi, 2006). El intervalo entre los puntos de medición se mantuvo, para todos los perfiles investigados. La máquina mide y almacena los datos automáticamente, los gráficos de las curvas y el dibujo de los mapas de contorno de los perfiles se autogeneran a partir de entonces.

Para realizar el levantamiento de los datos con el equipo PQWT – TC150 la utilización del equipo en cuestión es sencillo de ejecutar ya que por su practicidad consta de dos electrodos que se denominan M y N que serán insertadas en el suelo con una distancia de 10 m entre ellos manteniendo los electrodos unidos mediante un cable adaptado al equipo de medición y una sucesión de medición cada 5 m.

Figura 6. Equipo de medición utilizado PQWT – TC150.



Nota: Equipo de medición utilizado para elaboración de perfiles electromagnéticos. Fuente: (PQWT, 2006)

Instrumentos auxiliares

Figura 7. GPS de ubicación.



Figura 8. Cinta de medir.



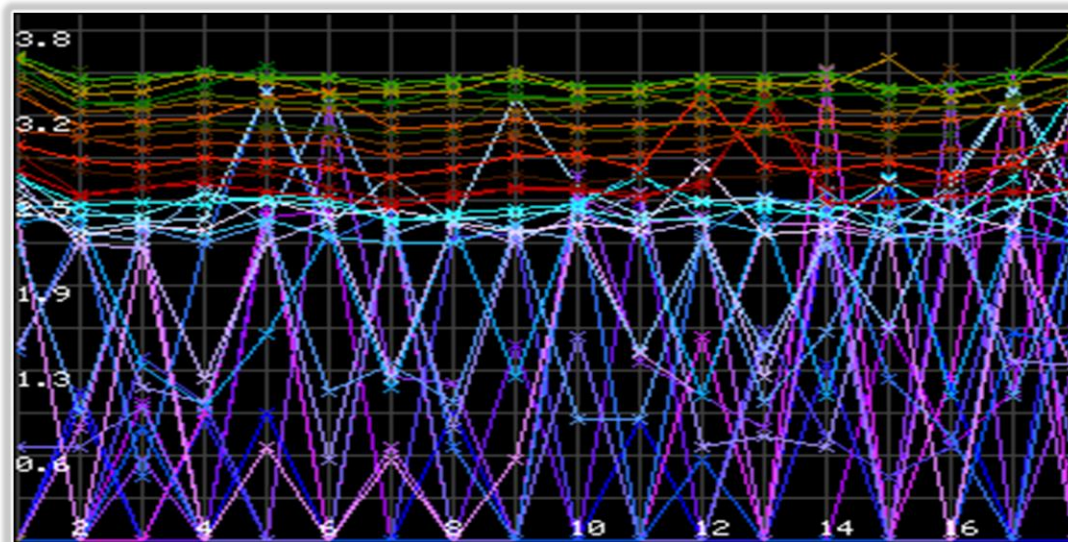
Nota: instrumento para ubicación de puntos de medición (GPS) y cinta métrica para medir longitud de perfiles electromagnéticos. Fuente: Propia.

Trabajo de Gabinete

En esta etapa se analizó los datos obtenidos del equipo de modelamiento PQWT TC 150 para posteriormente interpretar los resultados obtenidos. Este equipo mide el componente eléctrico del campo electromagnético de la tierra, llamado método de campo eléctrico natural.

Se realizaron 13 perfiles electromagnéticos dentro del área de estudio (mapa 1), con la finalidad de establecer la profundidad y espesor de las unidades hidrogeológicas con longitudes de 100 m aplicando 33 frecuencias, obteniendo una profundidad de investigación de 150 metros. Posteriormente a la aplicación del método y de la recopilación de datos por las funciones informáticas integradas únicas, el instrumento puede generar automáticamente un gráfico de curvas y un mapa de contorno de perfil con un botón, y determinar la ubicación del cuerpo de mineral, hueco (cueva), agua (acuífero), etc.

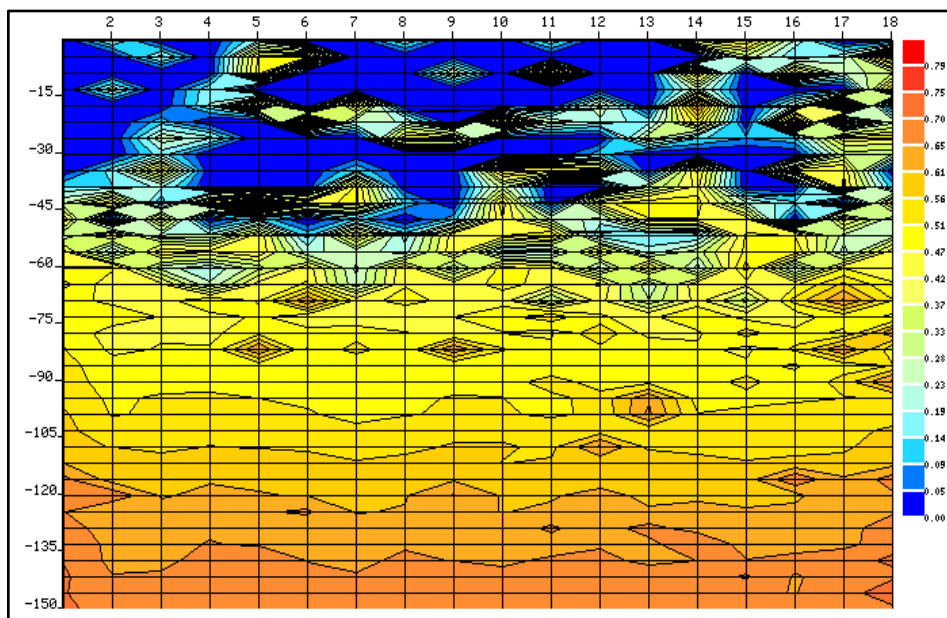
Figura 9. Gráfico de curvas del perfil electromagnético 2.



Nota: Gráficos de curvas generados por el equipo PQWT-150 de PEM 2. Fuente: Propia

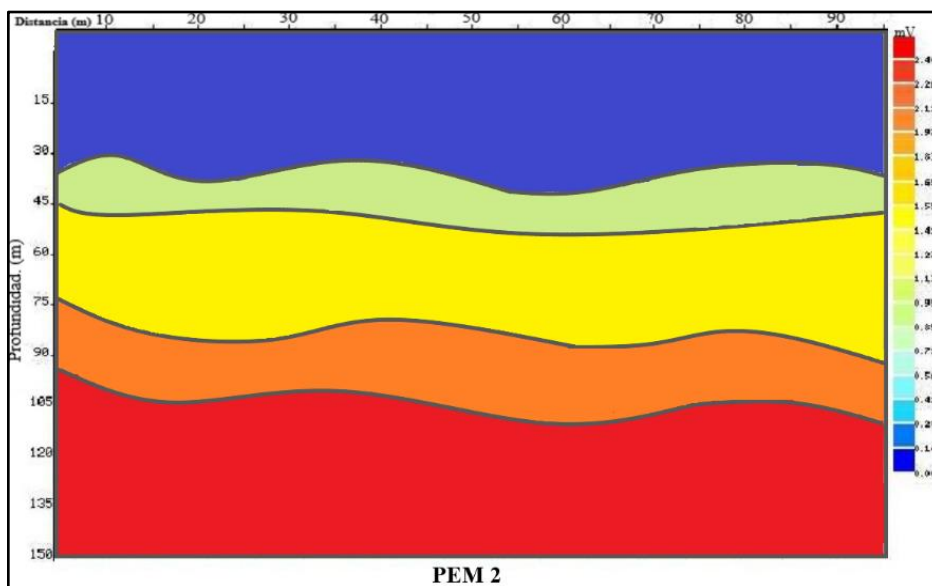
En la figura 9 se presenta los datos registrados por el instrumento, empleando las frecuencias mixtas, las áreas de diferente contraste representan el potencial eléctrico en milivoltios (mV), muestra la curva generada del levantamiento PEM 2, las líneas rectas indica la homogeneidad del material rocoso en el subsuelo, el cambio en las curvas indica la variación de las propiedades de las rocas en profundidad, donde se da un cambio de materiales.

Figura 10. Modelo procesado del perfil electromagnético 2.



Nota: Modelo de Mapa de contorno elaborado automáticamente por el equipo de prospección Geofísica PQWT. Fuente: Propia.

Figura 11. Modelo de contorno procesado en ArcGIS.



Nota: modelo de mapa de contorno ejecutado a partir del programa ArcGIS 10.5 Fuente: Propia.

En las figuras 10 y figura 11, las líneas horizontales indica la distancia en metros tomada en superficie, y la línea a vertical indica la profundidad alcanzada en metros (150 m). Los mapas de contorno representan la distribución y la variación de roca en el subsuelo hasta los 150 m, el esquema de los rangos de valores representada por colores en la parte derecha de cada mapa, indica el potencial eléctrico de las rocas en milivoltios (mV). Los colores más fuertes, como el rojo y rojo-naranja determinan la resistividad de una roca masiva, compactada y con poco o nulo flujo de agua subterránea.

CAPITULO IV

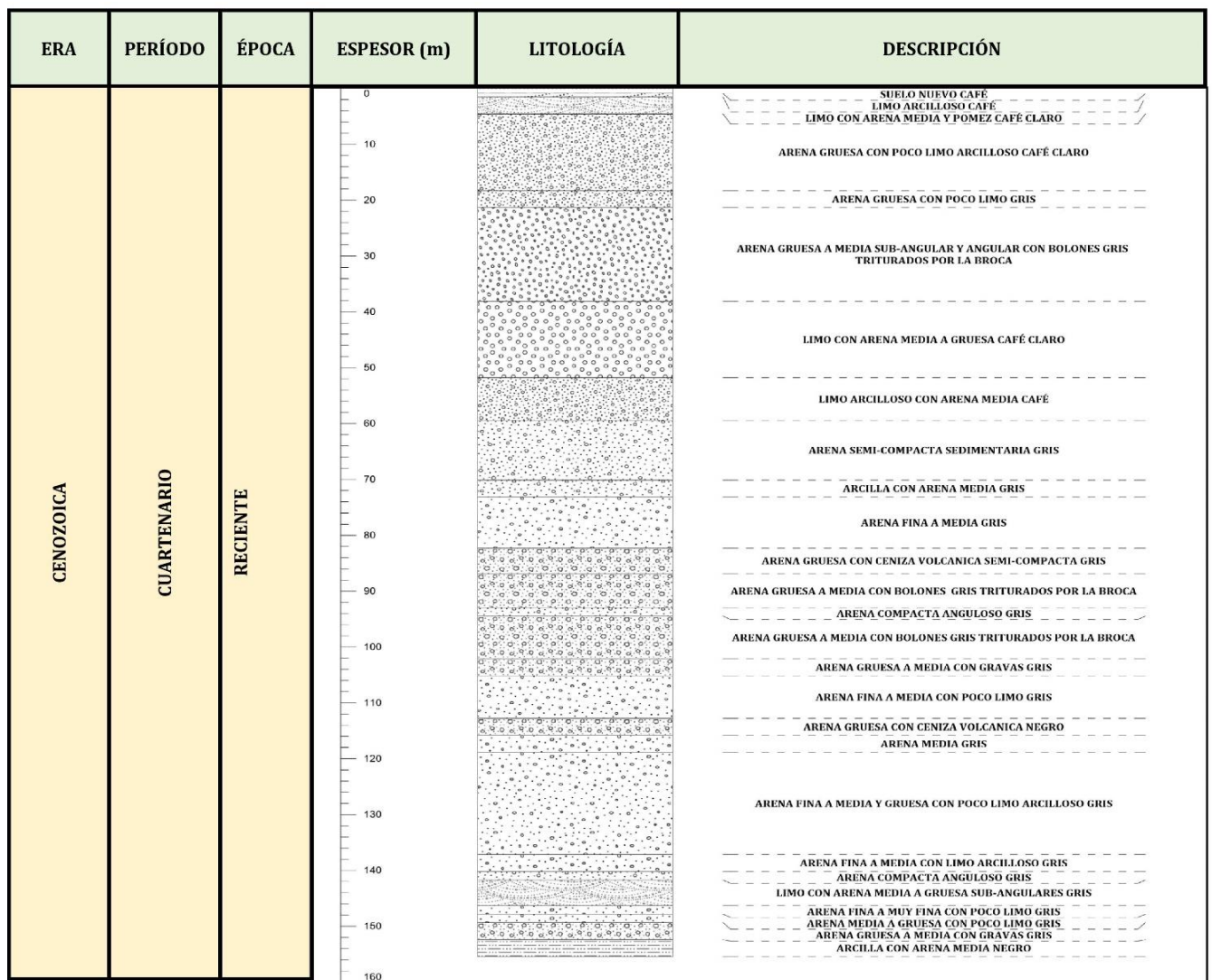
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Apartado 1. Elaboración de una columna estratigráfica según las propiedades del subsuelo y la información piezométrica existente.

- **Litoestratigrafía del POZO-TISMA**

La descripción de la sucesión estratigráfica desde la base al techo encontrada, la descripción de barrena del POZO-TISMA, para este estudio es descrita así:

Figura 12. Columna Litoestratigráfica del área de estudio.



Nota: Columna realizada con información proporcionada por el tutor. Fuente: (INETE, 1986)

La columna estratigráfica permite representar gráficamente los rasgos más relevantes de las secuencias geológicas del subsuelo e identificar las distintas unidades litológicas y ciertos fenómenos geológicos en orden cronológico de acuerdo a la evolución geológica del área de estudio. Esto nos permite asociar posteriormente los datos obtenidos con el equipo (potencial eléctrico) con las condiciones que presenta en profundidad el subsuelo en el área.

Apartado 2. Ubicación geográfica de las anomalías electromagnéticas de los sitios favorables para la perforación de pozos según los resultados de la prospección geofísica y la información hidrogeológica recopilada.

Llamamos secciones homogéneas o homogeneidad geofísica a subsuelos con comportamientos horizontales sin discontinuidades algunas en sus estratos, y heterogeneidad a las estructuras de las capas del subsuelo que han sufrido algún cambio de comportamiento en sus estratos.

Las descripciones de las secciones geofísicas nos permiten caracterizar estructuras que se hayan presentado en nuestro plano de estudio y ubicarlas geográficamente.

- ***Modelos Geofísicos (PEM)***

La ubicación de los perfiles presentados en el sitio de estudio (ver mapa 1), están orientados longitudinalmente el acuífero las Sierras en dirección N-S y perpendicular NW-SE, donde se establece una secuencia de tres distribuciones litológicas en función del parámetro medible (potencial eléctrico).

Se determinó los valores del potencial eléctrico que muestran mayor discrepancia con el medio geológico. La escala de potencial eléctrico de tipo rainbow en la cual se clasificó en: valores numéricos mínimos, intermedios y máximos.

La distribución de los rangos se define de la siguiente manera:

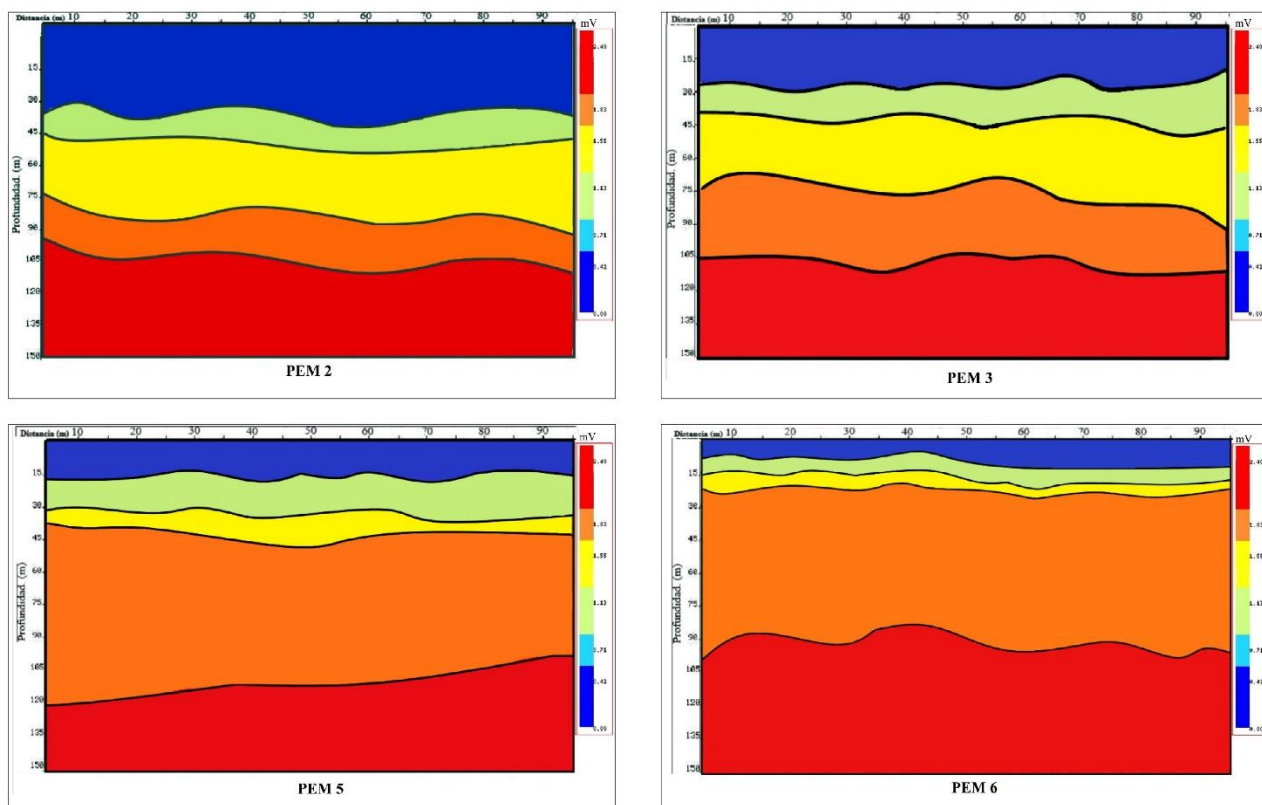
- Potencial eléctrico mínimo entre 0,00 mV – 0,71 mV (franja celeste – azul)
- Potencial eléctrico intermedio 0,71 mV – 1,27 mV (franja verde claro – amarillo)
- Potencial eléctrico máximo 1,27 mV – 2,40 mV (franja naranja – roja).

A continuación, la descripción de las secciones electromagnéticas (PEM):

a) Secciones Homogéneas PEM:

A partir de la columna estratigráfica construida, los potenciales eléctricos mínimos son asociados fundamentalmente a rocas sueltas muy húmedas o material limo arcilloso con poco flujo de agua subterránea que representa los colores azules y celestes, mientras que los potenciales eléctricos intermedio son característicos de rocas fracturadas o porosas, como arenas gruesas en donde circula el flujo de agua subterránea para este se representan mediante los colores verdes claros y amarillos y, por último, los potenciales máximos corresponden a materiales compactos poco fracturado diferenciados por tonalidades de colores entre naranjas y rojos.

Figura 13. Modelos de perfiles homogéneos PEM 2, PEM 3, PEM 5, PEM 6.




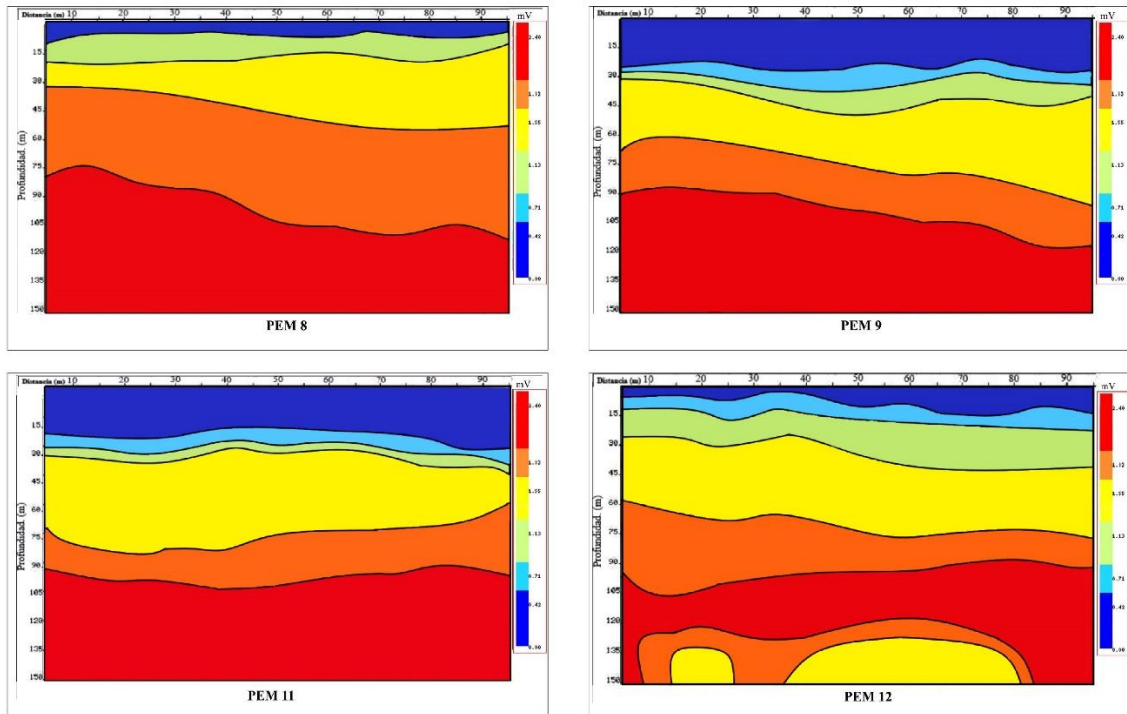

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA UNAN-LEONARDO	Facultad de Ciencias e Ingeniería Departamento de Física	"Modelo conceptual geofísico - hidrogeológico del comportamiento de las aguas subterráneas en el área Oeste del valle de Tisma"	Realizado por: Br. Jocelyne de los Ángeles Miranda Gutiérrez Br. Kessler Santiago García Hernández
	SECCIONES GEOFÍSICAS HOMOGÉNEAS (PEM)		

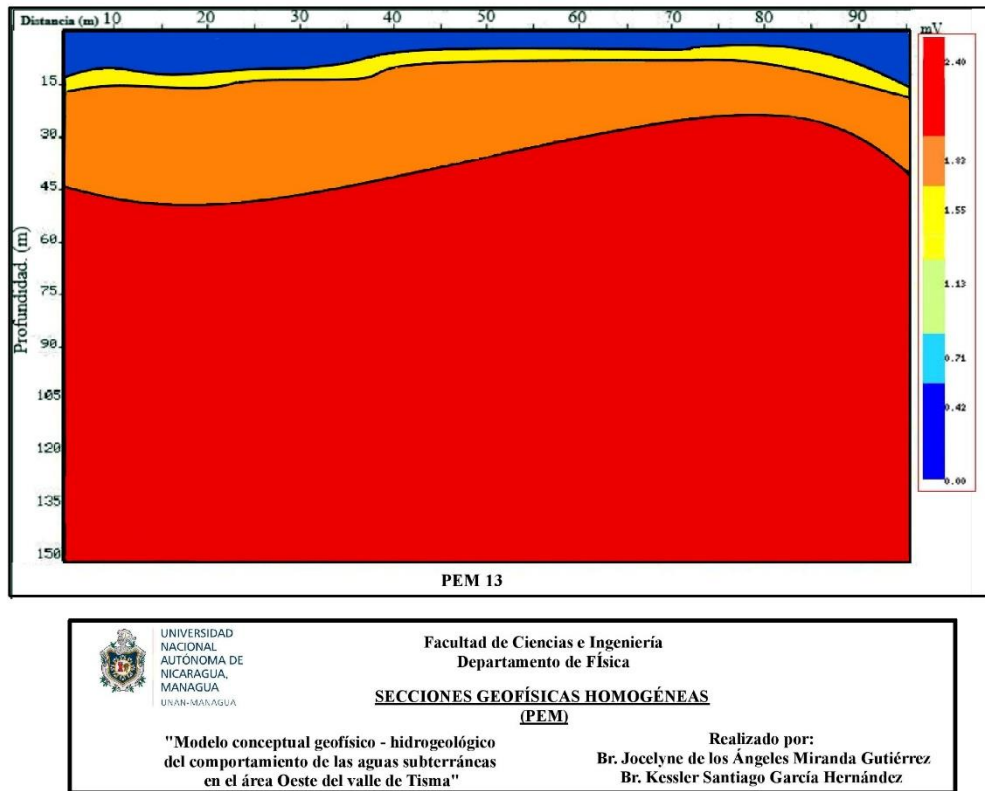
Figura 14. Modelos de perfiles electromagnéticos PEM 8, PEM 9, PEM 11, PEM 12.



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA MANAGUA, LENIN RODRÍGUEZ</p>	<p>Facultad de Ciencias e Ingeniería Departamento de Física SECCIONES GEOFÍSICAS HOMOGÉNEAS (PEM)</p>	<p>"Modelo conceptual geofísico - hidrogeológico del comportamiento de las aguas subterráneas en el área Oeste del valle de Tisma"</p>	<p>Realizado por: Br. Jocelyne de los Ángeles Miranda Gutiérrez Br. Kessler Santiago García Hernández</p>
--	--	--	---

Nota: Mapa de contorno trabajados en ArcGIS. Fuente: Propia.

Figura 15. Modelo del perfil electromagnético PEM 13.



Nota: Mapa de contorno trabajados en ArcGIS. Fuente: Propia.

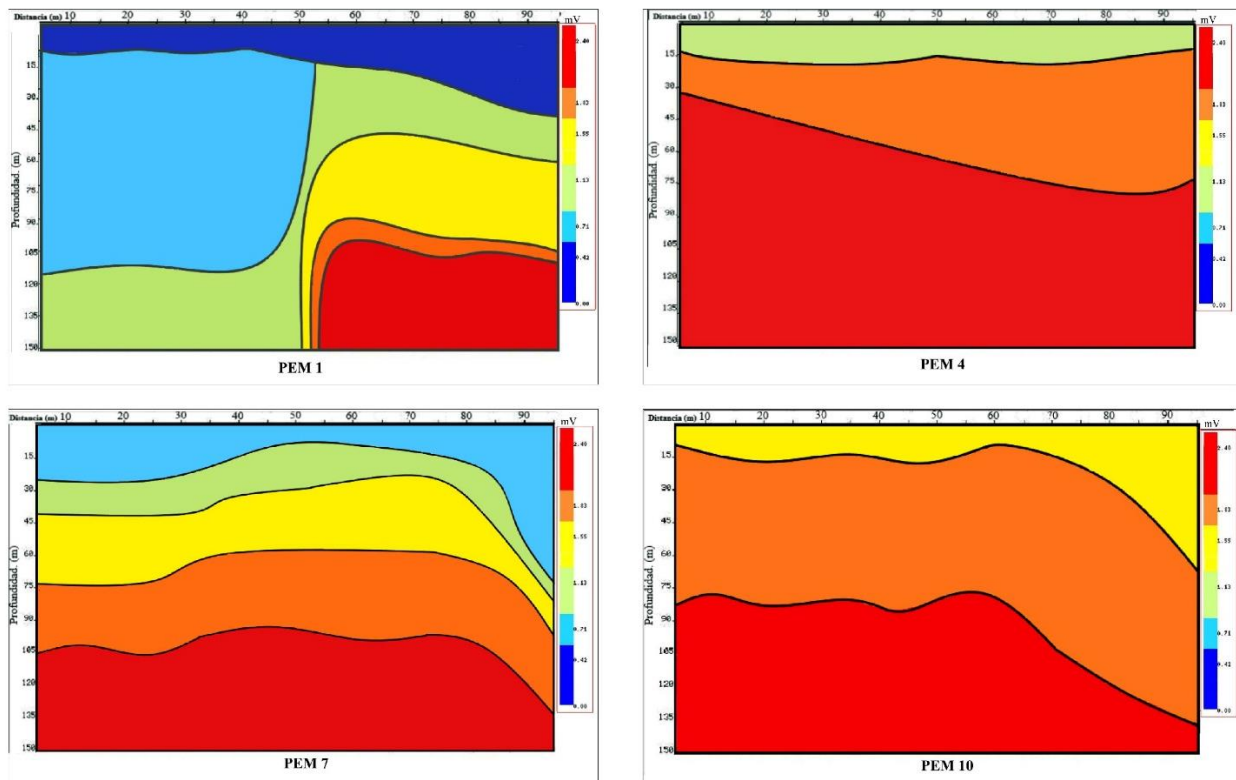
Las secciones geofísicas PEM 2, PEM 3, PEM 4, PEM 5, PEM 6, PEM 8, PEM 9, PEM 11, PEM 12, PEM 13, se caracteriza por presentar distribuciones donde la primera capa presenta rangos de potencial eléctrico mínimos con valores entre 0,00 mV - 0,71 mV con espesor promedio de 30 m para los perfiles PEM 2, PEM 3 y PEM 9, en la dirección SE dirigiéndose a la comunidad San Ramón el espesor se adelgaza aproximadamente a 10 m para las secciones PEM 5, PEM 6, PEM 8, PEM 11, PEM 12, PEM 13.


Por debajo de los 10 m se encuentra una segunda capa con espesor estimado de 25 m a 30 m con valores 0,71 mV - 1,27 mV para los perfiles PEM 2, PEM 3, PEM 9, por consiguiente, el espesor de esta capa se adelgaza entre 20 m disminuyendo a 10 m.

Finalmente, la tercera capa se caracteriza por tener gran espesor entre 50 m reduciéndose a 30 m con valores 1,27 mV - 2,40 mV para las secciones PEM 2, PEM 3, PEM 5, PEM 6, PEM 8, PEM 9, PEM 11, PEM 12, PEM 13.

b) Secciones Heterogéneas especiales PEM:

Figura 16. Perfiles heterogéneos PEM 1, PEM 4, PEM 7, PEM 10.




Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Física
SECCIONES GEOFÍSICAS HETEROGÉNEAS (PEM)

"Modelo conceptual geofísico - hidrogeológico del comportamiento de las aguas subterráneas en el área Oeste del valle de Tisma"

Realizado por:
Br. Jocelyne de los Ángeles Miranda Gutiérrez
Br. Kessler Santiago García Hernández

Las secciones geofísicas PEM 1, PEM 4, PEM 7, PEM 10 presentan características heterogéneas del medio geológico. Para la sección PEM 1 se determinó una primera capa entre valores de 0,00 mV - 0,71 mV con espesor de 10 m, la siguiente capa se encuentra entre valores de 0,71 mV - 1,27 mV con espesor de 95 m después se encuentra una tercera capa con valores entre 1,27 mV - 2,40 mV.

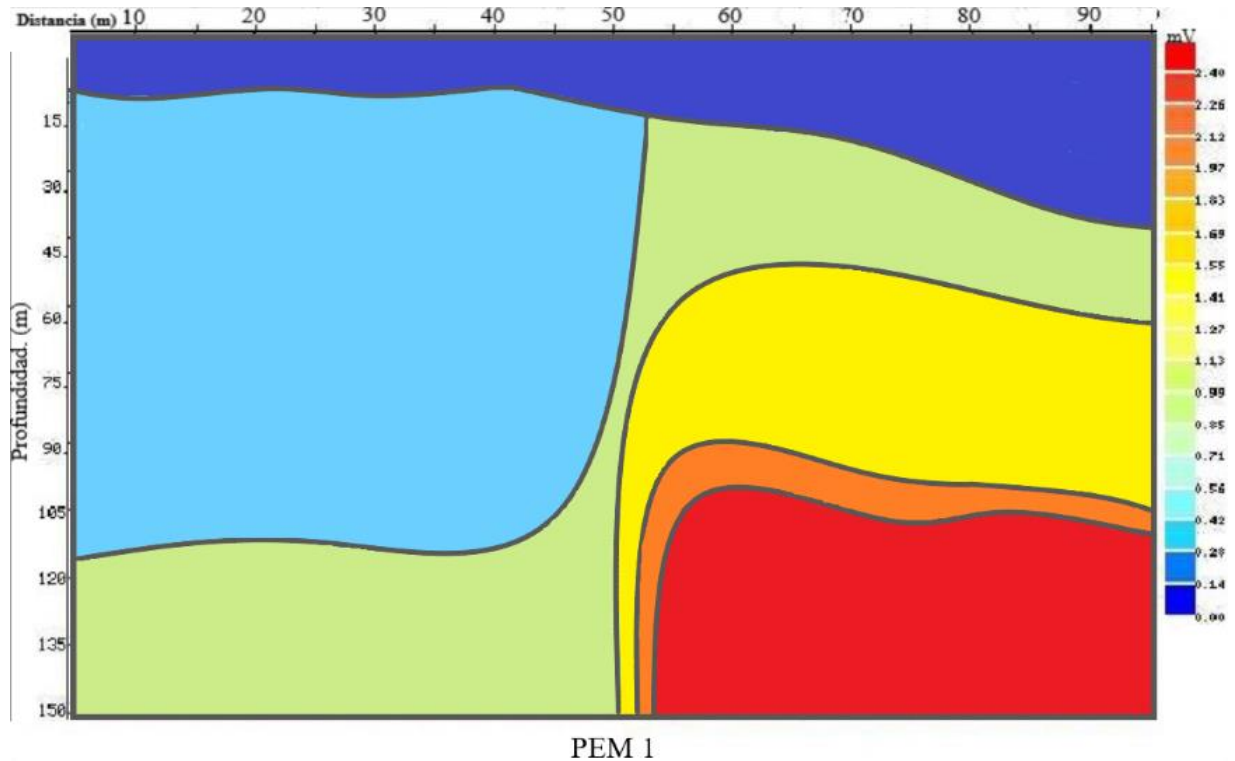
La sección PEM 7 se caracteriza por tener una primera capa entre los 60 m y 25 m, con valores entre los 0,00 mV - 0,71 mV, la segunda capa entre los 35 m y 15 m con potencial eléctrico intermedio en el rango de los 0,71 mV - 1,27 mV y una tercera capa entre los 70 m y 50 m con valores entre los 1,27 mV - 2,40 mV.

La sección PEM 4 se caracteriza por tener 2 distribuciones, la primera capa con espesor de 15 m y valores entre 0,71 mV - 1,27 mV el cual es homogéneo, una segunda capa con espesor de 135 m contiene valores entre 1,27 mV - 2,40 mV; por consiguiente, la sección PEM 10 la primera capa con espesor de 10 m a 45 m con potencial de entre 0,71 mV - 1,27 mV y una segunda de aproximadamente 140 m a 105 m con valores máximos de potencial entre los 1,27 mV - 2,40 mV.

Las diferencias entre las capas de subsuelo que se observan en cada perfil están sujetas a procesos geológicos producidos en la zona y alrededores al área de estudio.

Mediante el tratado de los datos se ha identificado una anomalía en la sección geofísica PEM 1 (figura 17), se atribuye el cambio del comportamiento de los estratos a la posible influencia de la zona de fallamiento local. ubicado en la coordenada (604909 E y 1340428 N).

Figura 17. Sección geofísica PEM 1.



En la figura 17 se representa el perfil electromagnético 1, donde se ha observado mediante el mapeo de contorno una anomalía en los estratos descrita como una discontinuidad debido al cambio en las estructuras físicas de las capas de subsuelo, influenciada a procesos de fallamiento en la zona, dicha anomalía se encuentra entre los 50 m - 60 m sobre el perfil realizado, y aproximadamente a una profundidad de 140 m.

Apartado 3. Determinación de la distribución geométrica de estratos permeables y no permeables en profundidad, a partir de mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias en perfiles geofísicos regularmente distribuidos.

Interpretación Geofísica -Geológica

Partiendo de la información publicada en (JICA, 1993), se dispuso de la litoestratigráfica que corresponde a la secuencia perteneciente al grupo la Sierra y una ligera unidad litológica de depósitos aluviales comprendido por zonas de inundación y zonas humedales formando depósitos de arcillas, limos del río (material orgánico) de Tisma.

El POZO-TISMA muestra 3 depósitos principales con sus descripciones geotécnicas (ver figura 12), las capas se correlacionaron con los indicadores litológicos de la Tabla 3, el cual se describe de la siguiente manera:

Una unidad litológica de depósitos aluvionales y dos capas de los materiales pertenecientes a la formación acuífera del Grupo las Sierras, se ha descrito que de 0 m - 15 m de espesor se encuentran depósitos aluviales (Qal) constituidos por sedimentos fluviales y materiales erosionados.

La formación de depósitos aluviales (Qal) está compuesto por material arcilloso y arenoso los cuales se han depositado de forma superficial sin embargo en las secciones geofísicas realizadas tienden a disminuir su espesor en los perfiles que se encuentra hacia el SE del lago de Managua. La formación acuífera perteneciente al Grupo la Sierra (TQpS) está compuesta por capas porosas permeables resultantes de arena volcánica, aglomerados andesíticos, y toba que funcionan como un sistema acuífero.

De manera que se elaboró la tabla 3 que muestra su indicador geológico en función de los valores de potencial eléctrico.

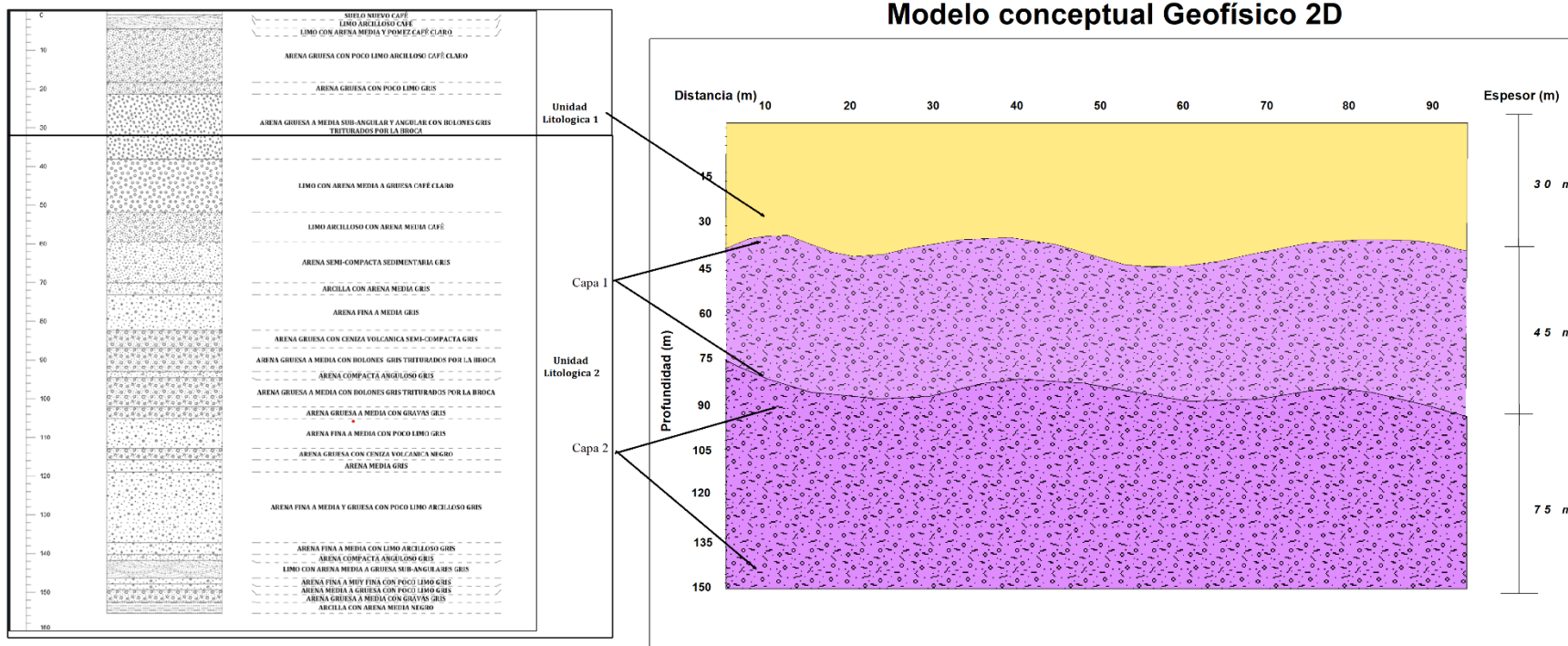
Tabla 3. Indicador geológico en función del potencial eléctrico.

Información	Litología	Potencial Eléctrico en este estudio (mV)	Espesor estimado de las capas (m)
Depósitos aluviales Qal	Capas arcillosas Capas limosas	0,00 - 0,71	10 - 20
Grupo Las Sierras TQpS-1	Arenas volcánicas gruesa, y flujos piroclásticos	0,71 - 1,27	30 - 45
Grupo Las Sierras TQpS-2	Flujo Piroclástico y arenas de origen volcánico, tobas, basaltos andesíticos	1,27 - 2,40	70 – 80

La tabla 3, nos indica 3 tipos de depósitos y sus características litológicas, cada una diferenciada por sus potenciales eléctricos descrito en la distribución de los rangos de los perfiles electromagnéticos y los espesores de las capas que representan cada una de estas.

A continuación, se presenta la siguiente figura 18:

Figura 18. Modelo conceptual y las condiciones geológicas de las capas del subsuelo.



Se determinaron a través de la interpretación de los paquetes litológicos tres unidades con ciertas características litológicas encontrados en el pozo del área de estudio el cual presenta propiedades similares a las descritas.

La primera unidad siendo parte de los depósitos aluviales está formada por materiales inconsolidados moderadamente sementados de limo arcilloso y arena, a pesar de saturarse de agua no lleva a cabo la transmisividad de aguas presentando características de una capa poco permeable.

La segunda unidad con materiales de capas porosas permeables de flujos piroclásticos formada por arenas gruesas con ceniza volcánica de color negro, arenas semi – compactas, siendo estas capas de fuertemente permeables a permeables según la clasificación alemana (ver figura 24), según (IRENA, 1981) las capas acuíferas asociadas al grupo Las Sierras se presentan alternando con capas semipermeables e impermeables de limo, cenizas finas, polvo volcánico y arcilla, formando un acuífero semiconfinado.

CAPITULO V

6. CONCLUSIONES

1. La construcción de la columna estratigráfica a partir de información piezométrica existente y la información geológica recopilada nos ha permitido conocer las características de las capas del subsuelo y las propiedades litológicas del área de estudio, a partir de dicha información poder establecer áreas donde existan las mejores condiciones para la perforación de pozo.
2. El estudio permitió la localización de una capa perteneciente al acuífero Las Sierras, el cual está influenciado por estructuras poco profundas y por la geología del subsuelo. El flujo de aguas subterráneas en el área de estudio puede estar influido por sistemas de fallamiento locales, de la cual se ha observado una anomalía antes descrita (Ver figura 17). La zona favorable para perforación es donde se ubican los PEM que se encuentran en dirección SE del lago de Managua ya que presenta adelgazamiento de la capa aluvial por lo tanto posee características permeables provenientes de capa porosas del grupo Las Sierras tales como: Arena gruesa, tobas, cenizas volcánicas y zonas de fractura, el cual lo convierte en una zona de recarga potencialmente acuífera.
3. La correlación geofísica-geológica permitió inferir que el área está asentada sobre un material de depósitos aluviales y de origen volcánicos los que constituyen acuíferos muy productivos. El área de estudios morfológicamente pertenece a un área de planicies de inundación o zonas de inundación de la laguna de Tisma, se considera sitio favorable para la perforación de pozos en la capa 2 donde se encuentran materiales porosos permeables resultantes de flujos piroclásticos formada por arenas gruesas con ceniza volcánica de color negro, arenas semi – compactas que funcionan como un sistema acuífero.

Las capas del modelo conceptual hidrogeofísico indican 3 distribuciones que corresponden a materiales aluvionales y materiales del grupo la Sierras, este último se constituye como un excelente acuífero en términos de producción de agua. Sin embargo, se necesita un estudio de la calidad del agua que estará en dependencia de condiciones locales o sujetas a hidrotermalismo en el sitio.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la perforación en la zona SE del lago de Managua donde según los modelos realizados mostraron que el espesor del depósito aluvional adelgazaba, debido a que este se comporta como un acuífero acuicludo por el contenido de material arcilloso que impide el drenaje y la transición del flujo de agua.
- La calidad del agua en este sitio debe evaluarse al terminar la perforación, esto es para verificar si hay índices de hidrotermalismo.
- Así mismo, se recomienda realizar una prueba de bombeo de 24 horas. Las pruebas de descarga variable permitirán establecer mejor la eficiencia del pozo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (15 de Mayo de 2007). *Asamblea Nacional de Nicaragua* . Obtenido de Asamblea Nacional de Nicaragua : <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/%28%24All%29/C0C1931F74480A55062573760075BD4B>
- Aragón, E., Galán Gaitán, M. C., Linarte Castillo, J. C., Reyes, C. M., Reyes García, M. A., Sediles Martínez, M. B., . . . Bravo Alemán, N. I. (Septiembre de 2009). *AECID*. Obtenido de AECID: <http://www.aecid.org.ni/wp-content/uploads/2014/04/CARACTERIZACION-DEL-DEPARTAMENTO-DE-MASAYA-23-NOV-2009.pdf>
- Arriola Picado, M. (Noviembre de 2012). *Repositorio UNAN*. Obtenido de Repositorio UNAN: <https://repositorio.unan.edu.ni/2408/1/930.pdf>
- Ballesteros, M., Arroyo, V., & Mejía, A. (2015). *Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad*. CAF. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00406.pdf>
- Centro Humboldt. (2015). *Escasez de agua, problema que nos salpica a todos*. Managua.
- Denyer, P. (2006). *GEOLOGÍA Y GEOTECTÓNICA DE AMERICA CENTRAL Y EL CARIBE*. Costa Rica.
- Ecología Verde . (2010). *ecologia verde* . Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-acuiferos-3149.html>
- ENACAL . (2019). *Estudio Geofísico De Tomografía Eléctrica En Tisma Municipio De Tipitapa* . Managua .
- ENACAL. (18 de Diciembre de 2020). *Biblioteca Virtual ENACAL*. Obtenido de Biblioteca Virtual ENACAL: <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Masaya/Tisma.html>

Gonzales, Menendez , L., Rodriguez,Fernandez , R., Serrano,Garcia, A. M., Nozal , F. M., Castaño de Luis , R., Toyos Saenz de Miera, J. M., . . . Mendez Carrasco, S. (s.f.). *Guías Geológicas de Parques Nacionales*. España: Parque Nacional de Monfrague Guia Geologica.

Herrera, Barbosa , J. A. (s.f.). *Monografias.com*. Obtenido de Monografias.com: <https://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo>

Hispagua . (2021). *sistema de informacion sobre el agua* . Obtenido de <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>

Hodgson, G. (1976).

Hodgson, G. (2000). *Geología Regional de Nicaragua (Introducción al léxico estratigráfico de Nicaragua)*. Managua.

Hodgson, G. (2002). *Geología e Historia Geológica Estructural, Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central* (Segunda ed.). Managua.

iAGUA. (2021). *iAgua*. Obtenido de iAgua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-acuifero>

INETER. (2004). *Proyecto Red Hidrogeológica*. Dirección de Hidrogeología.

INETER. (2010). *Identification and assessment of hydrological flows between the lakes of Managua and Nicaragua,Applying Nuclear Techniques for the Development of a Management Plan for the Watershed of the Great Lakes*. Managua.

INGEOMINAS. (2011). *LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS UN ENFOQUE PRÁCTICO*. Colombia. Recuperado el 05 de Septiembre de 2021, de GOV.CO: <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Aguas-subterranas-enfoque-practico.PDF>

Instituto de Equipo de Exploración Geológica de Hunan Puqi. (2006). *PQWT*. Obtenido de PQWT: <https://spanish.pqwtcs.com/About-pqwt>

Jiménez, F. (1999). Agua dulce:un enfoque de la situación centroamericana. *WWF*, 28.

Khan Academy. (2022). Potencial electrico y Voltaje .

- Kuang, J. (1971). *Estudio geológico del Pacífico de Nicaragua. División de Geología*. Managua.
- La Femina, P., Dixon, T., & Strauch, W. (2002). Bookshelf faulting in Nicaragua. *Geology*, 30(8), 751-754. doi:[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030%3C0751:BFIN%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030%3C0751:BFIN%3E2.0.CO;2)
- MAGFOR. (2002). *Proyecto de Regionalización*. Dirección General de Estrategias territoriales.
- MARENA. (1999). *Evaluación y Redefinición del Sistema de Áreas Protegidas de las Regiones Pacífico y Centro Norte de Nicaragua LAGUNA DE TISMA*. Managua.
- McBirney, A., & Williams, H. (1965). Volcanic History of Nicaragua. *Geological Sciences*, 55.
- Mejías, J., Jégat, H., Mora, L., & Linares, M. (2011). Modelo hidrogeológico conceptual para la evaluación del acuífero de la planicie aluvial del río Motatán. *Revista Geográfica Venezolana*, 31-44.
- Perdomo Melo, V. M., & Rojas Leguizamón, C. A. (Diciembre de 2017). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/143468635.pdf>
- Pineda, E. B., Alvarado, E. L., & Canales, F. (1994). *Metodología de la investigación* (Segunda ed.). Washington.
- Piura López, J. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Nicaragua.
- Plan Hidrogeológico Nacional*. (Septiembre de 2000). Obtenido de Plan Hidrogeológico Nacional : http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/A0787F1D-73F0-4DA5-9122-B1BAD67A63B1/130027/PHN_MT_V1.pdf
- Polare, M., & Fraga, H. (2021). Estratigrafía. 13. Obtenido de https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Subsuelo_2021_9%20ed_print.pdf
- Protti, M., Guendel, F., & McNally, K. (1994). Protti, M., Guendel, F., The geometry of the WadatiBenioff zone under southern Central America and its tectonic significance:

Results from a high-resolutions local seismographic network. *Physics of the earth and Planetary Interiors*, 84, 271-287.

Rivera, M. (2004). *Bio-Nica.info*. Obtenido de Bio-Nica.info: <http://www.bionica.info/biblioteca/anonimogeologiasintesisgeologia.pdf>

Rotman, A. (23 de 01 de 2009). *FDEM*. Obtenido de FDEM: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/09.pdf?sequence=10&isAllowed=y>

Sanchez Aleman , E. J. (2020). *modelo conceptual de flujo de aguas subterranas de la subcuenca II cuanca sur del lago de managua*. managua.

Sorranos Ontiveros, J. (2003). *UPCommons*. Obtenido de UPCommons: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/09.pdf?sequence=10&isAllowed=y>

The Groundwater Project. (2022). *Online Platform for Groundwater Knowledge*. Recuperado el 14 de 01 de 2022, de Online Platform for Groundwater Knowledge: <https://gw-project.org/la-importancia-de-las-aguas-subterranas/?lang=es>

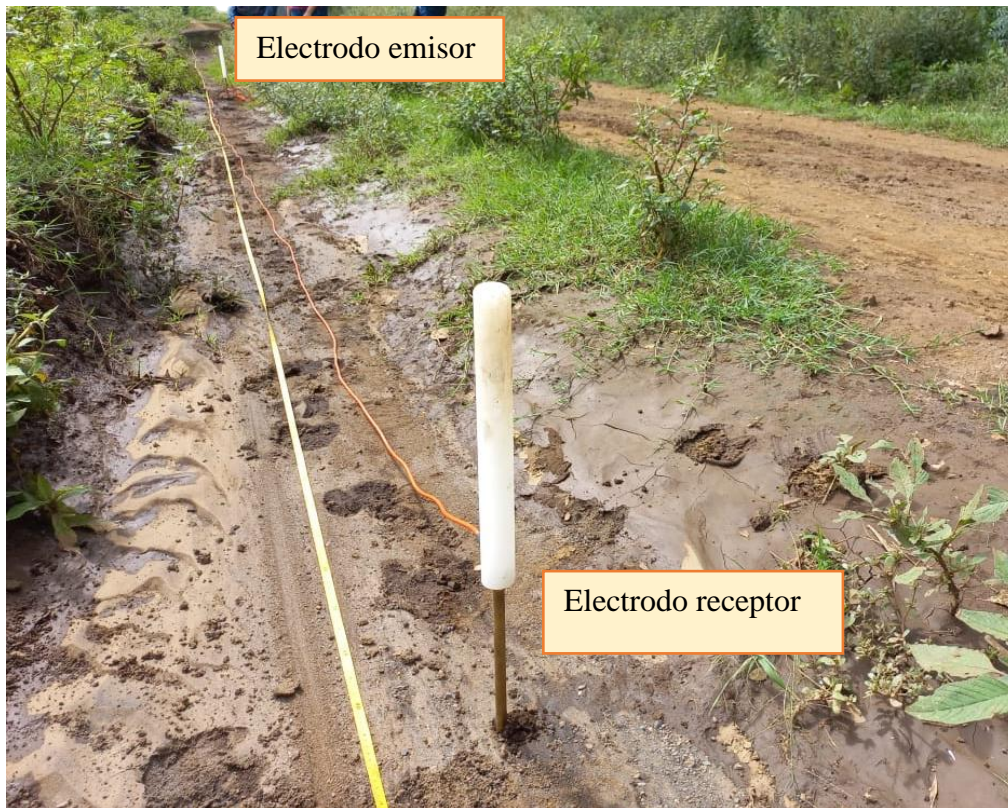
9. ANEXOS

Figura 19. Levantamiento de perfiles en el área de estudio.



Nota: Perfil electromagnético elaborado en área de estudio. Fuente propia.

Figura 20. Levantamiento de datos con el uso del equipo PQWT – TC150.



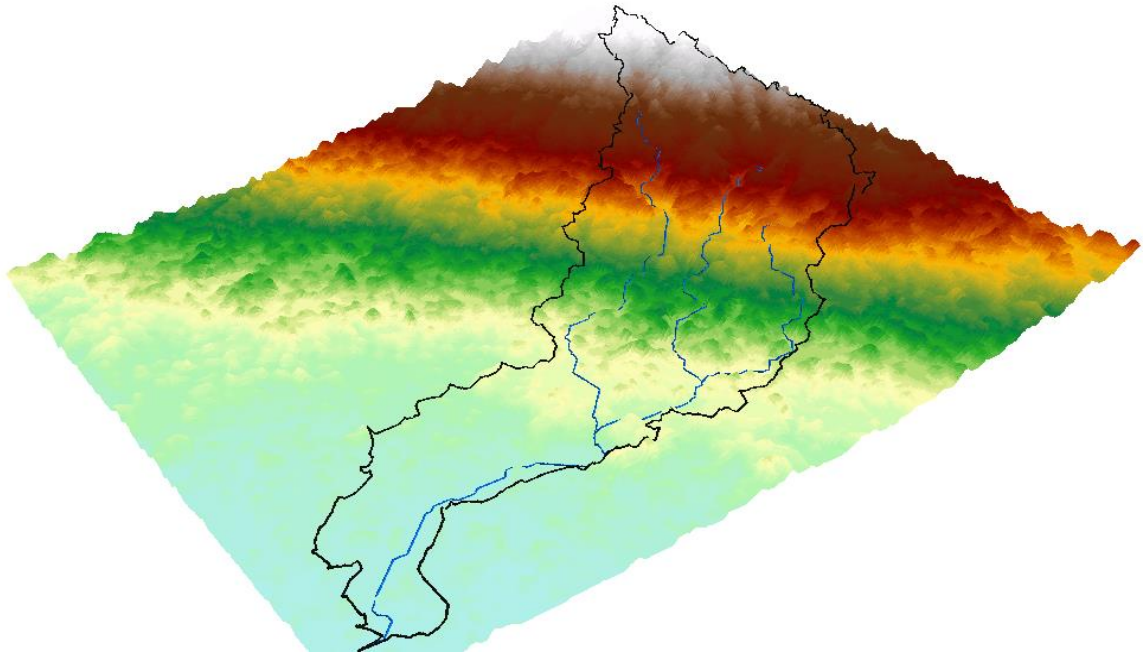
Nota: imagen de perfil realizado usando equipo de medición PQWT – TC150. Fuente propia.

Figura 21. Recopilación de los datos en la base de datos del equipo de medición PQWT - TC150.



Nota: Recolección de datos en el punto de medición. Fuente propia.

Figura 22. Modelo de elevación utilizando datos del satélite ALOS PALSAR.



Nota: Los tonos rojizos hacen referencia a la zona más elevada del área y los tonos claros como el celeste representa la parte de menor altura. Fuente: ALOS PALSAR.

0-3' Capa de tierra vegetal, color cafe

- 5' - Limo Arcilloso, Color Cafe
- 15' - Limo Con arena media y pomez. Color Cafe Claro
- 60' - Arena gruesa Con poco limo Arcilloso, Color Cafe claro
- 70' - Arena gruesa Con poco limo, Color gris
- 125' - Arena gruesa a media Sub-angular y angulares y limones triturada por la broca, Color gris
- 170' - Limo Con arenas a media a gruesa, Color cafe claro
- 195' - Limo Arcilloso Con arena media Color Cafe
- 230' - Arena Semi-compacta Sedimentaria Color gris
- 240' - Arcilla Con arena media Color gris
- 270' - Arena fina a media, Color gris
- 285' - Arena gruesa Con Cenizas Volcanicas Semi-compacta Color gris
- 305' - Arena gruesa a media Con balones triturado por la broca. Color gris
- 310' - Arena compacta, angulosa Color gris triturada por la broca
- 335' - Arena gruesa a media Con balones hasta 1/4" φ, Color gris
- 345' - Arena gruesa a media Con gravas hasta 1/4" φ, Color gris
- 370' - Arena fina a media Con poco limo, Color gris
- 380' - Arena gruesa Con Cenizas Volcanicas Color negro
- 390' - Arena media Color gris
- 450' - Arena fina a media y gruesa Con poco de limo arcilloso Color gris
- 460' - Arena fina a media Con limos Arcillosos Color gris
- 465' - Arena compacta angulosa Color gris
- 480' - Limo Con arena media a gruesa Sub-angulares Color gris
- 485' - Arena fina a muy fina Con poco limo Color gris
- 490' - Arena media a gruesa Con poco limo Color gris
- 500' - Arena gruesa a media Con grava de 1/4" φ Color gris
- 510' - Arcilla Con arena media, Color negro

Nota: Datos de litología de pozo existente. Fuente: (INETER, 1986)

Tabla 4. Datos de los perfiles realizados.

Perfiles	Coordenadas				Elevación	
	Inicial		Final		Inicial	Final
	Este	Norte	Este	Norte		
PEM 1	604859	1340419	604960	1340437	46	47
PEM 2	605285	1340446	605379	1340458	46	34
PEM 3	603926	1339886	604005	1339950	54	55
PEM 4	603624	1339302	603643	1339393	66	66
PEM 5	604323	1339770	604423	1339766	50	49
PEM 6	604996	1339486	605063	1339413	57	56
PEM 7	604205	1338736	604118	1338686	58	60
PEM 8	604587	1338960	604673	1339013	59	56
PEM 9	605716	1339531	605626	1339487	39	42
PEM 10	602579	1339902	602670	1339939	89	81
PEM 11	603239	1339894	603338	1339880	71	68
PEM 12	603414	1338862	603499	1338915	76	78
PEM 13	603732	1338452	603820	1338499	75	73

Nota: Tabla representativa de las coordenadas y elevaciones del terreno para cada uno de los 13 perfiles elaborados.

Figura 24. Propiedades físicas de los distintos tipos de suelos según la clasificación alemana.

Textura de suelos	Coefficiente de permeabilidad K_f [m/s]	Rangos de permeabilidad [m/s]	Clasificación
Grava	$10^{-1} - 10^{-2}$	$10^{-2} < K_f$	Muy fuertemente permeable
Arena gruesa	$10^{-2} - 10^{-3}$	$10^{-2} > K_f > 10^{-4}$	Fuertemente permeable
Arena media	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^{-4} > K_f > 10^{-6}$	Permeable
Arena fina	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-6} > K_f > 10^{-8}$	Poco permeable
Limo arenoso	$10^{-5} - 10^{-7}$	$K_f < 10^{-8}$	Muy poco permeable
Limo arcilloso	$10^{-6} - 10^{-9}$		

Nota: Clasificación de permeabilidad según las características de las texturas del suelo.

Fuente: (Saucedo, 2003).

Matriz de Operacionalización de Variables (MOVI)

Construir un modelo conceptual geofísico - hidrogeológico del área Oeste del Valle de Tisma, Masaya que permita la ubicación de sitios potencialmente favorables para la perforación de pozos.

Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Subvariables, o Dimensiones	Variable Operativa ó Indicador	Técnicas de Recolección de Datos e Información y Actores Participantes		
				Análisis Documental	Experimento de Campo	Uso de Software
Objetivo Especifico 1 Elaborar perfiles electromagnéticos parcialmente distribuidos que permita obtener información del subsuelo en la zona de estudio área Oeste del valle de Tisma, Masaya.	1. Aguas subterráneas 2. Acuífero	1.1.Extracción 1.2.Uso 1.3.Composición 2.1. Tipos de acuíferos	1.1.1. Captación 2.1.1. Según la litología 2.1.2. Según el tipo de hueco 2.1.3. Según la presión hidrostática	X		
Objetivo Especifico 2 Caracterizar las formaciones geológicas en el área Oeste del Valle de Tisma en Masaya, a través de un modelo	1. Propiedades del subsuelo.	1.1.Unidades geológicas 1.2.Estratigrafía del subsuelo 1.3.Unidades hidrológicas	1.1.1. Discontinuidades. 1.1.2. Secuencias litológicas		X	

conceptual geofísico – hidrogeológico con base en mediciones electromagnéticas en el dominio de las frecuencias.	1.4.Permeabilidad	X	X	X	X	
<p>Objetivo Específico 3</p> <p>Determinar la distribución geométrica de estratos permeables y no permeables en profundidad, tomando en cuenta el espesor de la capa acuífera en el área Oeste del Valle de Tisma en Masaya.</p>			<p>1. Método</p> <p>electromagnético en función de la frecuencia.</p>	<p>1.1.Equipo de medición</p> <p>PQWT-TC 150</p>	<p>1.1.1. Diferencial de potencial.</p>	X

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	2021				2022	
	ENE - FEB – MAR	ABR-MAY-JUN	JUL-AGO-SEP	OCT-NOV	ENE-FEB	MAR-NOV
Elección del tema	X					
Objetivos	X					
Área de estudio	X					
Diseño metodológico	X					
Planteamiento del problema	X					
Justificación	X	X				
Preguntas directrices	X	X				
Antecedentes	X	X	X			
Marco referencial		X	X			
MOVI		X	X	X		
Introducción			X	X		
Bibliografía	X	X	X	X		
Revisión del protocolo					X	X
Revisión con el tutor	X	X	X	X	X	X
Revisión con el asesor geológico	X	X	X	X	X	X
Revisión con el asesor metodológico	X	X	X	X	X	X