

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA

UNAN-MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO

RURD

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS



TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A

FRANCISCA LICETTE HERNANDEZ

**“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades
Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en
el área Oeste de Managua.”**

TUTOR DE TESIS: MSc. FRANCIS RIVERA

ASESOR DE TESIS: MSc. GABRIELA MURILLO

Managua – Nicaragua

11/04/2012

Agradecimiento

Agradezco a nuestro creador Dios, por mantenerme firme en la lucha de obtener un título profesional, y mantener a mi madre a mi lado apoyándome en todo momento.

Quiero agradecer también al Centro de Investigaciones Geocientífica, CIGEO-UNAN/Managua, por brindarme apoyo profesional y económico en pro de la realización de la presente tesis monográfica.

Agradecer de manera infinita a Francis Rivera, mi tutora, y a Gabriela Murillo, mi asesora de tesis, por guiarme en la realización de la presente.

Es importante, para mí, agradecer además a miembros del CIGEO/UNAN – Managua, tales como Denis Avellán, Marvin Corriols, Lenner Sequeira, y Francisco Espinoza, por haberme brindado información y asesorado en las técnicas para desarrollar mi tesis monográfica. También a Suyen López, Petronila Flores y Mayela Martínez por darme ánimos en los momentos más difíciles de la tesis. Por último quiero agradecer a Walter Espinoza por el apoyo brindado durante el trabajo de Campo. Así como a Xochilt Guevara y Rebeca Centeno, mis compañeras de trabajo, por apoyarme en todo momento.

Dedicatoria

La presente tesis es dedicada a Dios mi redentor, que mantuvo la esperanza en mi madre, Aura Nadín Hernández, para estar conmigo en todo momento y no permitir que las dificultades nos pudieran vencer.

Resumen

El principal objetivo en este estudio es determinar las variaciones del nivel del agua subterránea y correlacionar el ambiente geológico con las propiedades hidráulicas de la parte oeste de Managua.

Esta investigación se llevó a cabo con la recopilación de información, un monitoreo estacional y un monitoreo continuo del nivel estático del agua subterránea en el área de estudio. Además se interpretaron columnas litológicas de 30 pozos ubicados en la zona de estudio, y también se calcularon las propiedades hidráulicas de 8 pozos en el área.

Con los datos obtenidos de los monitoreo estacional y continuo se realizó un análisis del nivel estático del agua subterránea, con el propósito de detectar las variaciones del nivel estático del agua subterránea en la parte oeste de Managua.

La interpretación litológica de los pozos se llevó a cabo con la colección y análisis de la información de 30 pozos ubicados en el área de estudio. Para esta interpretación se construyeron 5 perfiles hidrogeológicos, con el fin de entender el comportamiento del nivel estático del agua subterránea para el año 2009.

Las propiedades hidráulicas analizadas en esta investigación fueron la transmisividad y conductividad hidráulica de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua. Estas transmisividades y conductividades hidráulicas se estimaron en pozos ubicados en la parte este de laguna de Nejapa, oeste de la laguna de Asososca, y la parte central del área de estudio.

Índice

Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Descripción del área de estudio	3
1.3	Estudios Previos	7
2	Metodología	10
2.1	Trabajo de Gabinete.....	10
2.1.1	Recopilación de información.....	10
2.1.2	Procesamiento e interpretación de datos	11
2.2	Trabajo de Campo.....	13
2.2.1	Reconocimiento hidrogeológico.....	13
2.2.2	Monitoreo continuo de las variaciones de nivel estático del agua subterránea en el área oeste de Managua.....	15
2.2.3	Monitoreo estacional de la variación del Nivel Estático del Agua Subterránea (NEAS) en el área oeste de Managua.....	17
2.2.4	Georeferenciación de la posición de los pozos	18
3	Geología.....	20
3.1	Geología regional y Tectónica de Managua.....	20
3.2	Geología de Managua.....	21
4	Hidrogeología	26
4.1	Hidrogeología de Managua	26
4.1.1	Acuífero de Managua	27
4.2	Hidrogeología de la parte oeste de Managua	29
4.2.1	Características acuíferas de las formaciones geológicas	30
4.2.2	Variación en los niveles de agua subterránea	31
4.2.3	Propiedades hidráulicas del área de estudio	33
5	Resultados	36
5.1	Variaciones de niveles de agua en el área de estudio	36
5.1.1	Monitoreo continuo	36
5.1.2	Mediciones Estacionales	44

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

5.2	Interpretación hidrogeológica	51
5.3	Características hidráulicas del área de estudio	61
6	Discusión.....	68
6.1	Variación de los Niveles del Agua Subterránea	68
6.1.1	Monitoreo continuo	68
6.1.2	Monitoreo estacional.....	69
6.2	Interpretación Hidrogeológica	69
6.3	Propiedades hidráulicas	71
7	Conclusiones y Recomendaciones	72
7.1	Conclusiones.....	72
7.2	Recomendaciones.....	74
8	Bibliografía	75
9	Anexos	80

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de Localización del área de estudio.	4
Figura 2: Mapa de localización de pozos monitoreados, con sensores Diver y con datos litológicos.....	12
Figura 3: Afloramientos encontrados durante el reconocimiento geológico en el área de estudio.....	14
Figura 4: Descripción de columnas litológicas.....	15
Figura 5: Instalación de equipos baro – divers, micro – divers y conductivímetro en pozos.....	17
Figura 6: Mediciones de nivel de agua.....	18
Figura 7: Mediciones con DGPS..	19
Figura 8: Mapa de los depósitos litológicos y las morfoestructuras del área de estudio.....	23
Figura 9: Sección estratigráfica elaborada por Avellán (2009).	25
Figura 10: Mapa de localización de la Sub-áreas según JICA & INAA (1993).	28
Figura 11: Medición de NEAS..	45
Figura 12: Mapa piezométrico del área de estudios.....	50
Figura 13: Mapa de localización de perfiles hidrogeológicos..	52
Figura 14: Perfil Hidrogeológico A – A'.....	54
Figura 15: Perfil hidrogeológico B – B'.	55
Figura 16: Perfil hidrogeológico C – C'.....	58
Figura 17: Perfil hidrogeológico D – D'.....	59
Figura 18: Perfil hidrogeológico E – E'.	60

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Precipitaciones (mm) mensuales colectadas durante los años 2008 y 2009.....	6
Gráfico 2: Resultados obtenidos en el Pozo los Cabros..	37
Gráfico 3: Resultados obtenidos en el Pozo Los Brasiles.....	38
Gráfico 4: Resultados obtenidos en el Pozo Ciudad Sandino 1 (5586).....	39
Gráfico 5: Resultados obtenidos con el baro Diver en el Pozo Ciudad Sandino I (5586).....	40
Gráfico 6: Resultados obtenidos en el Pozo El Cuadro.....	41
Gráfico 7: Resultados obtenidos en el Pozo Trinidad II.....	42
Gráfico 8: Resultados obtenidos con el baro Diver en el Pozo Trinidad II.....	43
Gráfico 9: Resultados obtenidos en el Pozo Las Brisas.....	44
Gráfico 10: Variaciones de los NEAS en el área de estudio.....	48
Gráfico 11: Resultados obtenidos en el pozo 006.....	61
Gráfico 12: Resultados obtenidos en el pozo 058.....	62
Gráfico 13: Resultados obtenidos en el pozo 102.....	62
Gráfico 14: Resultados del pozo 5657..	63
Gráfico 15: Resultados obtenidos en el pozo 5984.....	63
Gráfico 16: Resultados obtenidos en el pozo PROMAPER 1.....	64
Gráfico 17: Resultados obtenidos en el pozo PROMAPER II.....	64

Gráfico 18: la transmisividad en el pozo PROMAPER IV..... 65

Lista de Tablas

Tabla 1: Ubicación de los sensores diver instalados en 6 pozos de monitoreo..... 16

Tabla 2: Variación de niveles de agua subterránea durante el periodo seco y lluvioso en pozos excavados y perforados..... 32

Tabla 3: Valores de transmisividad calculados por Krázný y Hecht (1998)..... 34

Tabla 4: Resultados de las mediciones de NEAS durante el año 2009.. 47

Tabla 5: Valores estimados de Transmisividad (T) y Conductividad hidráulica (K) de la parte oeste del acuífero de Managua.. 67

Tabla 6: Relación de las conductividades hidráulicas calculadas con las unidades geológicas que conforman el acuífero en el área de estudio. 71

1 Introducción

La parte occidental de Managua se ha convertido en un área de especial interés por que ha enfrentado problemas de escasez en agua. Esta situación podría estar siendo provocada por una explotación intensiva del acuífero debido al rápido desarrollo urbanístico desde el 2002. Asimismo, esta zona no cuenta con suficiente información referente a su situación hidrogeológica, la cual es necesaria para caracterizar y monitorear las fuentes de agua subterráneas.

Debido a los anterior es fundamental evaluar el comportamiento del agua subterránea a través monitoreo del nivel freático del acuífero en mención. Esto con el fin determinar posibles cambios en el nivel de las aguas subterráneas.

El presente trabajo se llevo a cabo en Ciudad Sandino y Mateare con el propósito de investigar las variaciones de los niveles estáticos del agua a través de mediciones tanto estacionales como continuas durante el 2009. Las mediciones estacionales se realizaron durante dos campañas de campo, una en julio y la otra en noviembre. Como resultado de este monitoreo se elaboraron mapas de elevaciones piezométricas.

Dentro de este estudio también se estiman parámetros hidráulicos y se definieron las unidades geológicas que constituyen el acuífero en el área de estudio con el propósito de definir las unidades que presentan las mejores propiedades hidrogeológicas.

1.1 Objetivos

Objetivos generales

Determinar las variaciones del nivel de agua subterránea de la parte oeste del acuífero de Managua, durante el segundo semestre del año 2009.

Relacionar el ambiente geológico con las propiedades hidráulicas que presenta del agua subterránea en el área de estudio.

Objetivos específicos

Realizar mediciones estacionales de los niveles estáticos en 17 pozos ubicados en la parte oeste de Managua, para lo cual se usará una sonda de 300m.

Monitorear continuamente la fluctuación de los niveles del agua subterránea en 6 pozos “utilizando 8 sensores”, localizados en el área de estudio.

Estimar los parámetros hidráulicos, en el área de estudio, por medio del análisis de resultados obtenidos en pruebas de bombeo.

Analizar e interpretar la información de columnas litológicas en los puntos de monitoreo y uniformarla según las formaciones geológicas existentes en el área de estudio.

1.2 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en la parte oeste de la ciudad de Managua, entre las hojas topográficas de Mateare y Managua, específicamente dentro de las coordenadas 1327000 – 1360000N y 577000 – 555000E. Comprende un área de 300 km² aproximadamente, y abarca los municipios de Ciudad Sandino y Mateare.

Las municipalidades de Ciudad Sandino y Mateare, se localizan al noroeste de Managua, a 12.5 km y 25 km, respectivamente. Ambos municipios tienen una población estimada en 98,918 habitantes (INEC 2005).

El acceso principal es la carretera nueva a León, clasificada como la vía primaria, y de la cual se derivan un sistema de calles que están conectadas directamente entre sí. Las vías secundarias sirven de acceso a los diferentes barrios y comarcas del área.

Los límites del área de estudio son: al norte el lago de Managua, al este Falla Nejapa (Espinoza, 2007), al oeste por el escarpe de la Falla Mateare (Cowan et al., 2002; Girard & van Wyk de Vries, 2005) y al sur por el escarpe de Falla Las Nubes (Fig. 1).

Topografía

Las elevaciones del terreno varían entre 40 y 900 msnm. Las zonas aledañas a las costas del lago Xolotlán presentan elevaciones menores a 40 msnm. La parte central del área y alrededor de la Península de Chiltepe, presentan elevaciones intermedias, entre 60 – 160 msnm. Asimismo las partes más elevadas, con cotas de 900 msnm, se localizan al sur en Las Sierras de Managua.

En el oeste y suroeste del la zona de estudio se encuentra la cordillera de Mateare, la cual muestra cotas de elevación entre 160 y 800 msnm. Esta cordillera, según el mapa topográfico, se muestra de forma alargada, sinuosa y abrupta en dirección noroeste – sureste.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

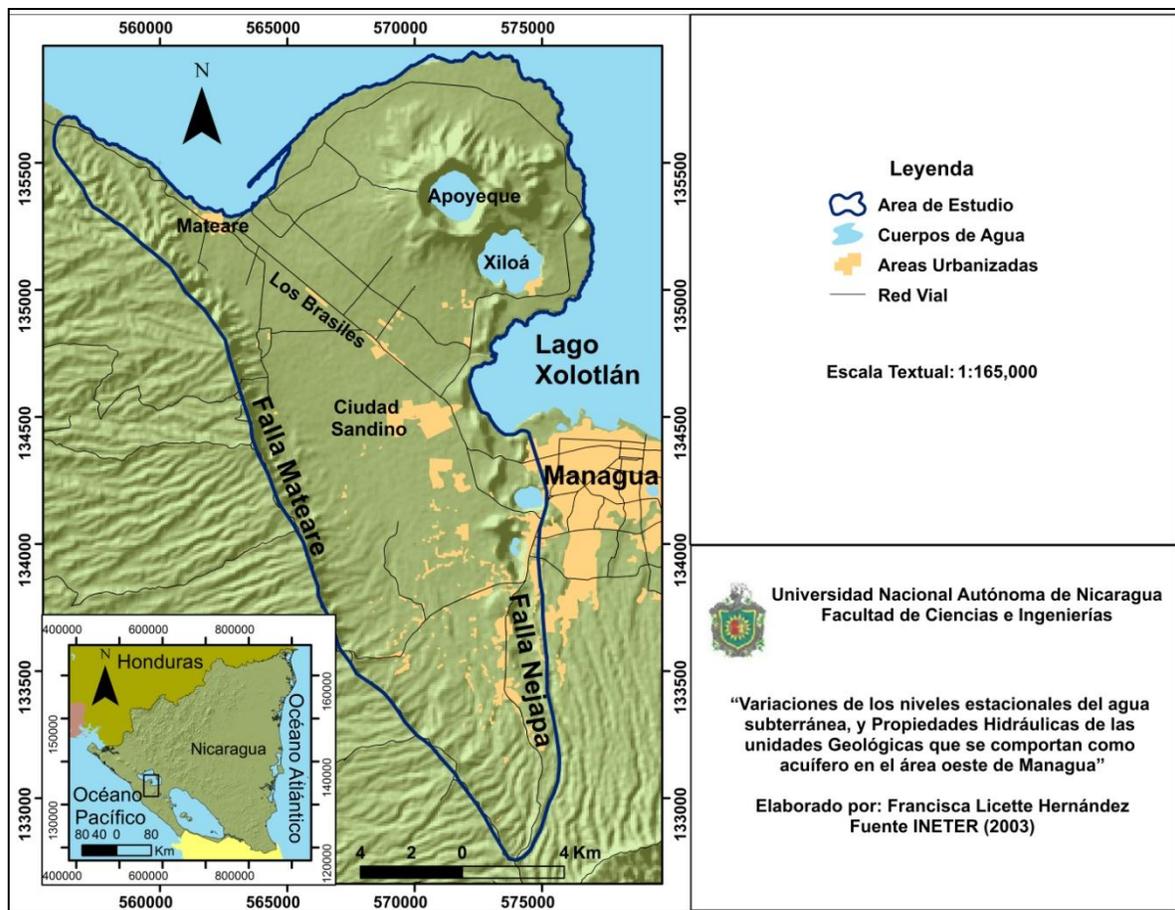


Figura 1: Mapa de Localización del área de estudio.

Estructuras Volcánicas

Hacia el noreste del área de estudio se observan las estructuras volcánicas de Apoyeque y Xiloá, los cuales presentan elevaciones desde 40 msnm hasta los 430 msnm. Estas estructuras almacenan agua, llamadas también mares.

El límite este del área de estudio coincide con algunas estructuras volcánicas alineadas con orientación de sur a norte: Ticomo, Nejapa, Asososca y Cuesta El Plomo. Así mismo otras estructuras de menor tamaño, tales como: Los Arcos, Refinería y Satélite. Todas estas estructuras han sido agrupadas dentro del Complejo Volcánico Nejapa (Avellán, 2009). Dentro de este complejo también se encuentran los conos de escoria de La Embajada, Motastepe, y Los Altos de Ticomo (Avellán, 2009).

Actividades Económicas

Dentro de las actividades económicas de los municipios de Ciudad Sandino y Mateare, la agricultura tiene presencia en los productos tradicionales tales como: maíz, yuca, ajonjolí, sandía, frijoles y escoba. Además de productos no tradicionales como pipián, ayote, y otros.

Ambos municipios se dedican a la ganadería, en su mayoría ganaderos individuales. En la municipalidad de Mateare además se practica la pesca en las costas del lago de Managua y cuenta con producción avícola que abastece a la población.

Otra actividad económica es la explotación de bancos de materiales. Estas forman parte de la actividad minera no metálica de Ambos municipios (INIFOM, desconocido).

Datos Climáticos

El clima en el área de estudio es de tropical de sabana a semi – húmedo, con una estación seca y una estación lluviosa. La primera entre los meses de Noviembre a Abril, y la segunda desde Mayo hasta Octubre.

Temperatura:

La temperatura media en el área de estudio presenta un máximo de 32.5°C en mayo y un mínimo de 22 °C durante el mes de enero, según los datos (1959 – 2010) obtenidos del Departamento de Meteorología de INETER (INETER, 2010).

Precipitación:

Existe una relación sencilla entre la precipitación y las variaciones de los niveles de agua, cuanto más alto sea el valor de precipitación en una zona se espera un aumento en el nivel de las aguas subterráneas. Por lo tanto dependiendo de la cantidad de agua precipitada durante el 2009 podremos tener un valor esperado

del cambio en el nivel de las aguas subterráneas. Cabe mencionar que para estimar este valor debemos tener en cuenta la tasa de infiltración del suelo, su permeabilidad, explotación y recarga.

Los registros de precipitación se obtuvieron de la base de datos del departamento de Meteorología de INETER (INETER, 2010), correspondiente a la estación Aeropuerto (69 027). Los datos de la estación Aeropuerto corresponden al periodo de 1958 – 2010 y los datos de la estación Asososca al período 1963 – 2007. Se graficaron los datos de precipitación mensual ocurridas tanto en el año 2008 como 2009 (Gráfico 1). Esto con el propósito de observar un mayor detalle de las variaciones de estos valores.

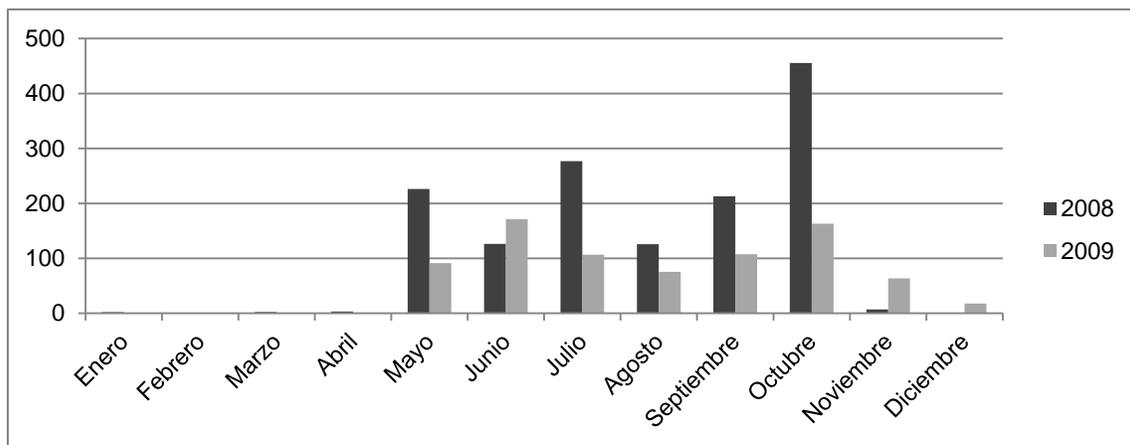


Gráfico 1: Precipitaciones (mm) mensuales colectadas durante los años 2008 y 2009. Son datos de estación Aeropuerto (69 027). (Fuente: INETER, 2010).

La precipitación acumulada y registrada por la Estación Aeropuerto (INETER, 2010) fue de 1439.5 mm para el año 2008, y 796.1 mm para el año 2009. En el gráfico 1, el mes de mayor precipitación para el año 2008 fue octubre con 455.6 mm y para el año 2009 fue junio con 171.1 mm. Las precipitaciones menores en el año 2008 es diciembre con 0.3 mm y en el 2009 también es diciembre con 17.8 mm. Estos valores se diferencian probablemente porque el país ha sido influenciado por el fenómeno del niño.

La Organización Meteorológica Mundial (2008), sugiere que durante los episodios del niño la temperatura de la superficie del mar en la parte central y oriental del pacífico tropical suele ser muy superior a lo normal, caso contrario a la niña en la cual la temperatura es inferior a lo normal. Esas variaciones de temperatura pueden provocar fluctuaciones importantes del clima en el mundo entero y una vez comenzadas esas anomalías pueden durar un año, o incluso más (Organización Meteorológica Mundial, 2008).

Strahler (2005), indica que el efecto del niño, en Centro América, se refleja en las variaciones de los regímenes de lluvias. Señala que Cuando los eventos son severos se registra una disminución importante en la acumulación de lluvias y con implicaciones de menor disponibilidad de agua. También menciona que el fenómeno está asociado a mayor incidencia de frente fríos, aumento del número de huracanes en el pacífico mientras disminuyen en el Atlántico (Strahler, 2005).

1.3 Estudios Previos

Se han realizado diferentes estudios hidrogeológicos con el fin de caracterizar el acuífero de Managua. A continuación se presentan los de mayor relevancia:

El Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1972), llevo a cabo un estudio en la cuenca Los Brasiles – Chiltepe, hoy conocida como la cuenca Chiltepe (INETER, 2003). Esta cuenca está limitada al norte por el lago Xolotlán, hacia el oeste el flanco este de la cordillera del Pacífico y al sur el borde de las planicies Nagrandanas. En este estudio se estimaron valores de permeabilidad y capacidad específica de los acuíferos superficiales.

Krázný y López (1988), llevaron a cabo un estudio con el propósito de explorar las fuentes de agua subterránea para el abastecimiento de la ciudad de Managua. Posteriormente Krázný y Hecht (1998), propusieron tres provincias hidrogeológicas de Nicaragua: Pacífico, Central y Atlántico. Estas provincias fueron definidas de acuerdo a la dirección del flujo de agua y las propiedades

geológicas. Los autores se enfocaron en la región Pacífica de Nicaragua, para la cual presentaron un mapa hidrogeológico y un mapa hidroquímico.

JICA & INAA (1993), ejecutaron un proyecto en la cuenca “Sur del Lago Managua” cubriendo las municipalidades de Ciudad Sandino, Managua, Tipitapa, Nindirí, y Masaya. El proyecto consistió en calcular el potencial del agua subterránea y formular un plan de desarrollo para el suministro de abastecimiento de agua en la ciudad de Managua. Para esto dividieron el área de estudio en tres sub – áreas hidrológicas e hidrogeológicas: Occidental, Central y Oriental. En este estudio también se creó un mapa hidrogeológico para la ciudad de Managua. Este estudio representa hasta la fecha uno de los más completos que han sido realizados en la zona.

MARENA y KTH (2000), realizaron el proyecto “Estrategia de Protección para el Acuífero de Managua”, el cual se dividió en tres sub – proyectos:

1. Vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero de Managua (MARENA y KTH, 2000a)
2. Estimación del Peligro Potencial de Contaminación en el Acuífero de Managua (MARENA y KTH, 2000b).
3. Valor Relativo de la Protección del Agua Subterránea en el Acuífero de Managua (MARENA y KTH, 2000c).

MARENA y KTH (2000a), elaboró un mapa de vulnerabilidad hidrogeológica por contaminación en el acuífero de Managua, para eso se determinaron las fuentes de contaminación y establecieron áreas de protección tomando en cuenta el uso actual del acuífero, la cercanía a fuentes de contaminación del agua subterránea, la infiltración y permeabilidad del suelo, calidad, cantidad y variación de los niveles freáticos.

INETER (2009), en el periodo 2005 – 2009, elaboró un informe hidrogeológico anual donde incluye información de la red de monitoreo de 12 acuíferos

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

localizados en la región pacífica del país. Dentro de este estudio se incluye también información del área de Managua dividida en dos acuíferos: Chiltepe – Mateare, y Las Sierras.

Uno de los proyectos hidrogeológicos más recientes fue ejecutado por la UNAN-Managua en cooperación con la Universidad de Lund-Suecia y financiado por la Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI). Parte de los resultados de este proyecto fueron los estudios realizados por Rivera (2010) y Murillo (2010).

Rivera (2010) analizó las condiciones hidrogeológicas de la parte oeste de Managua incluyendo el desarrollo geológico y estructural involucrado en la formación de los acuíferos del área. Simultáneamente Murillo (2010) propuso un modelo conceptual hidráulico del acuífero localizado en la misma zona.

2 Metodología

La metodología implementada en esta investigación se dividió en dos etapas: trabajo de gabinete y trabajo de campo, las cuales se detallan a continuación:

2.1 Trabajo de Gabinete

Esta etapa del proyecto se llevó a cabo durante todo el transcurso de la investigación. Primero se recopilaron todos los estudios previos realizados en el área de estudio, lo que también incluyó la obtención de datos de pruebas de bombeo necesarios para el cálculo de parámetros hidráulicos. También se analizaron los resultados y se elaboraron mapas correspondientes de acuerdo a los objetivos propuestos en este trabajo. Posteriormente se procedió a la interpretación de las descripciones litológicas de pozos localizados en el área de estudio con el fin de elaborar los perfiles hidrogeológicos. Finalmente toda esta información se integró en la redacción final de este trabajo.

A continuación se presenta una descripción de cada una de las tareas realizadas durante esta etapa.

2.1.1 Recopilación de información

Para la recopilación de información se visitaron las instituciones gubernamentales, como INETER, ENACAL y no gubernamentales como McGregor (compañía perforadora de pozos). También se realizó una revisión de mapas topográficos, geológicos, hidrogeológicos y estudios previos realizados en el área de estudio. Asimismo se recopiló la información general de aspectos socioeconómicos y ambientales de Ciudad Sandino y Mateare.

La información recopilada consistió en geología, geografía, registros de pruebas de bombeo y columnas litológicas de los pozos perforados descritas por ENACAL, INETER y McGregor. También fueron obtenidos los archivos de la base de datos

de mapas de INETER (2003), importantes para la elaboración de los mapas presentados en esta investigación.

A partir de la información incorporada en la base de datos, se realizó una selección preliminar de los pozos más apropiados para ser utilizados como puntos de medición en el monitoreo del acuífero. Para dicha selección se tomó en cuenta la disponibilidad de los siguientes parámetros: datos de descripción litológica, registros históricos de niveles estáticos a lo largo de varios años y prueba de bombeo. Además se tomó en cuenta la accesibilidad y seguridad de cada sitio de medición.

2.1.2 Procesamiento e interpretación de datos

La información hidrogeológica obtenida de los pozos previamente seleccionados (registros de pruebas de bombeo y descripción litológica de 30 pozos), fue utilizada para calcular las propiedades hidráulicas e interpretar la litología de acuerdo al ambiente geológico del área de estudio.

El procesamiento e interpretación de datos se dividió en las siguientes sub-etapas:

Creación de base de datos

Se elaboró una base de datos digital utilizando el programa Microsoft Office Access 2007, la cual incluyó la información recopilada de investigaciones previas hechas en el área de estudio. Posteriormente se realizó una actualización de la base de datos mediante la incorporación de los resultados obtenidos durante esta investigación. Asimismo se hicieron consultas periódicas a esta base de datos con el fin de extraer información de relevancia.

Programas utilizados

Para el procesamiento de datos se utilizaron los siguientes programas de computadoras: *Microsoft Office (Access, Excel y Word 2007)*, *Diver – office*, *Ashtech Solutions*, *AQTSOLV*, *AutoCAD* y *ArcGIS*.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Interpretación de la descripción litológica de pozos en el área oeste de Managua

Para realizar la interpretación de la descripción litológica en el área de estudio, se usaron registros litológicos de 32 pozos proporcionados por ENACAL, INETER y McGregor (Fig. 2). La mayor parte de estas descripciones litológicas fueron hechas usando términos geotécnicos empleados para describir rocas sedimentarias. Debido a lo anterior era necesaria una interpretación de acuerdo al ambiente volcánico representativo del área de estudio, tomando en cuenta el tamaño del grano, la ubicación del pozo y su cercanía con afloramientos para comparar la litología representativa del lugar donde se encontraba cada pozo y uniformar las descripciones litológicas de los pozos.

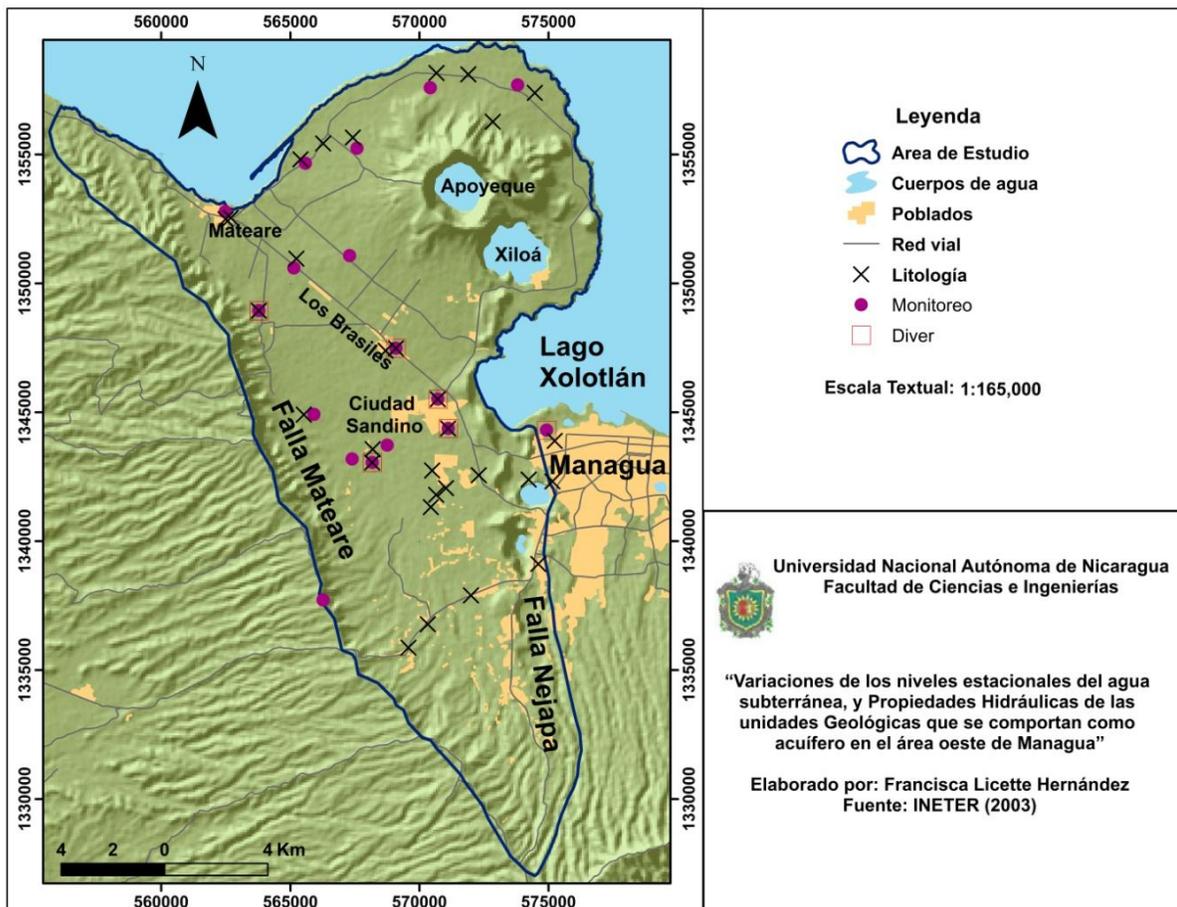


Figura 2: Mapa de localización de pozos monitoreados, con sensores Diver y con datos litológicos.

Las columnas litológicas interpretadas de los pozos perforados en el área de estudio, se realizaron en *AutoCAD (versión 2010)*. Por último el *ArcGIS (versión 9.2)*, se utilizó para digitalizar los puntos de medición con coordenadas X, Y, Z. La localización de los puntos de muestreo es base importante para la elaboración de los mapas presentados en esta investigación.

Cálculos de parámetros hidráulicos

Se calcularon los parámetros hidráulicos de Transmisividad y Conductividad de los materiales a través de datos de pruebas de bombeo proporcionados por ENACAL. La prueba de bombeo es el método más común para la estimación de los parámetros hidráulicos de un acuífero.

Se utilizó el programa *AQTSOLV (versión 4)* para estimar los parámetros hidráulicos. Con el programa se emplearon las soluciones numéricas propuestas por Hantush – Jacob (1955), para acuíferos no confinados; Theis (1935), para acuíferos confinados; y Dougherty – Babu (1984), también aplicable para acuíferos confinados.

Principalmente el procesamiento de datos consiste en introducir, en el programa a utilizar, la información del diseño de cada pozo, la cual incluye profundidad de penetración del pozo en el acuífero, la columna de agua, el caudal y los datos del descenso en función del tiempo obtenidos durante la prueba de bombeo. Posteriormente se selecciona la solución más adecuada de acuerdo a las condiciones que presenta el acuífero, dando como resultado valores de transmisividad y conductividad hidráulica.

2.2 Trabajo de Campo

2.2.1 Reconocimiento hidrogeológico

Durante el trabajo de campo en el 2009, se llevaron a cabo las siguientes actividades: Reconocimiento hidrogeológico, monitoreo continuo y estacional de

las variaciones del nivel estático del agua subterránea y ubicación de los pozos de monitoreo a través del Sistema de Posicionamiento Global Diferenciado (DGPS por sus siglas en inglés). Cada una de estas actividades se detalla a continuación.

El reconocimiento hidrogeológico de la parte oeste de Managua que incluyó un inventario de pozos con el objetivo de revisar las condiciones de los futuros sitios de medición (pozos) y constatar la viabilidad para llevar a cabo las mediciones. La selección final de todos los pozos utilizados en esta investigación se muestra en la figura 2 (Ver sección 2.1.2). En dicho reconocimiento también se describieron los afloramientos litológicos más representativos del área de estudio. Esta descripción fue posteriormente utilizada en la interpretación litológica de los pozos localizados en el área de estudio.

Se realizó un reconocimiento geológico del área de estudio. Se visitaron varios afloramientos y se hizo una descripción general de cada uno (Fig. 3)

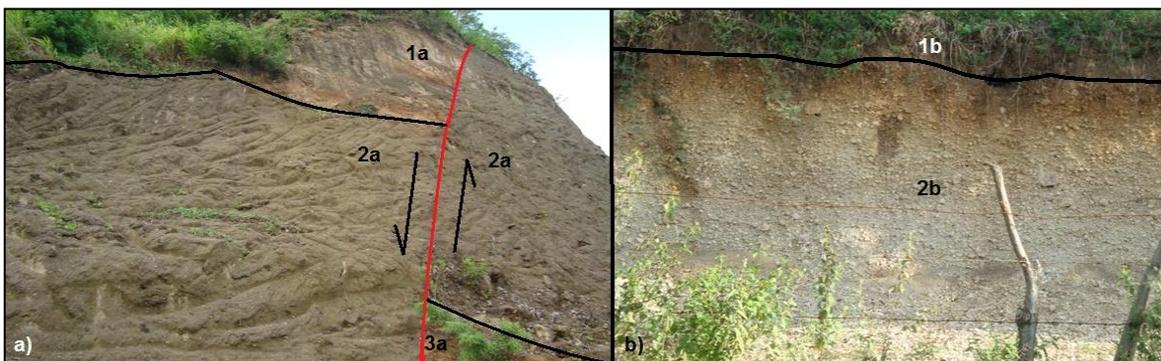


Figura 3: Afloramientos encontrados durante el reconocimiento geológico en el área de estudio. a), flujo de ceniza (2a), presencia de falla del tipo inversa, la línea roja indica la falla y flecha negra la dirección del movimiento. Este afloramiento se localiza en Ciudad Sandino. Para el caso de b) se trata de una capa vegetal (1b), sobreyacente a otro estrato geológico, posiblemente la Formación Chiltepe (2b). Este último estrato puede apreciarse a lo largo del corte de la carretera que bordea la Península de Chiltepe.

Fue posible describir las columnas litológicas en tres pozos perforados por ENACAL. Estos pozos son: pozo Centroamérica, Valle Gothel y Mercedes 17. Cabe mencionar que los pozos no están dentro del área de estudio por lo cual no se incluyeron los datos de estos pozos. Sin embargo fueron útiles para observar

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

las características de los depósitos descritos tales como: granulometría y forma del grano para comparar con las descripciones levantadas por los técnicos de perforación.

Las muestras se tomaron cada 6 m de profundidad de perforación del pozo. Una vez terminado el pozo se realiza la descripción de las muestras (Fig. 4).

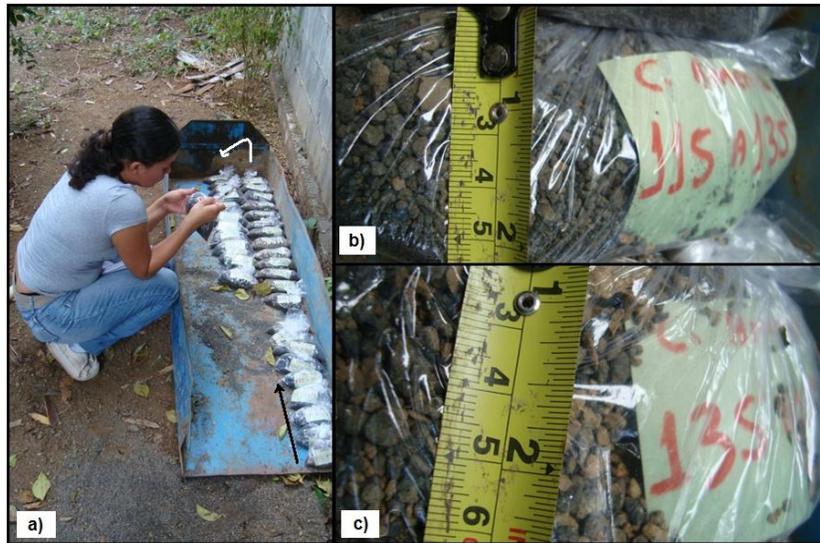


Figura 4: Descripción de columnas litológicas. a) Presenta muestras litológicas de pozos perforados. La flecha marca el inicio de la toma de muestra por el perforista. b) y c) Presentan dos de las muestras de suelo tomadas durante la perforación del pozo, y los números en rojo señalan el rango de la profundidad a la que fue tomada la muestra.

2.2.2 Monitoreo continuo de las variaciones de nivel estático del agua subterránea en el área oeste de Managua.

Se utilizaron tres tipos de sensores marca Diver para realizar este monitoreo (Tabla 1 y Fig. 5):

- Cinco sensores que miden temperatura y nivel del agua subterránea.
- Dos sensores que registran la presión barométrica y temperatura.
- Un sensor que además de medir temperatura y nivel del agua, también registra datos de conductividad eléctrica del agua.

La ubicación de los pozos con los sensores instalados se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1: Ubicación de los sensores diver instalados en 6 pozos de monitoreo.

ID	Nombre	Fecha	NEAS (msnm)	Equipo	*Nivel D (msnm)	**presión (mH ₂ O)
1	Los Cabros	15/05/09	43.05	Diver	34.81	18.24
2	Los Brasiles Viejo	15/05/09	42.11	Diver	38.42	13.69
3	Ciudad Sandino I	15/05/09	41.96	Diver	24.55	27.41
4	Ciudad Sandino I	15/05/09	41.96	Baro – Diver	89.55	-
5	El Cuadro	15/05/09	41.5	Diver	36.56	14.94
6	Trinidad II	15/05/09	43.88	Conductivímetro	39.49	14.39
7	Trinidad II	15/05/09	43.88	Baro – Diver	115.49	-
8	Trinidad II	13/08/09	45.21	Conductivímetro	39.49	15.72
9	Las Brisas	15/05/09	38.07	Diver	33.04	15.03

*ND = nivel de instalación de cada Diver.

**Presión = Presión ejercida por la columna de agua

Los sensores se programaron para iniciar a medir a partir del 16 de mayo del 2009 hasta el 16 de mayo del 2010 en un rango de medición de 6 horas.

Los datos de los sensores fueron bajados y descargados mensualmente durante el año 2009. Esto consistía en visitar los pozos con los sensores instalados y descargar los datos a través de un puerto USB hacia una computadora portátil, posteriormente introducir de nuevo los sensores en los pozos. (Fig. 5).

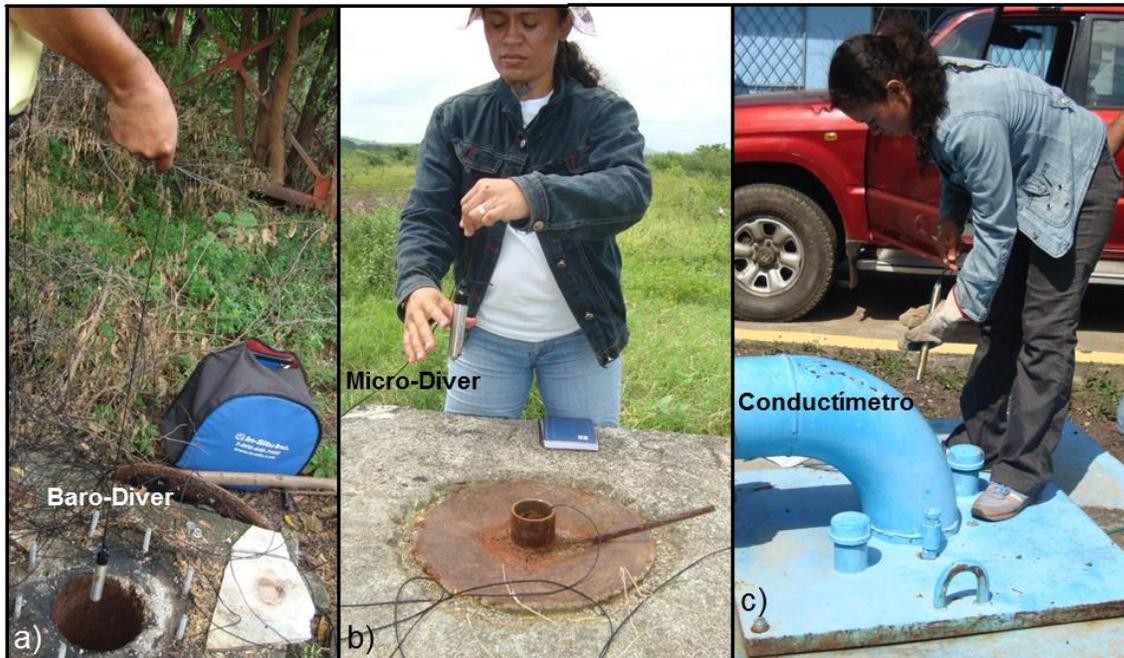


Figura 5: Instalación de equipos baro – divers, micro – divers y conductímetro en los pozos: a) la Polvosa, b) el Cuadro y c) Trinidad II.

Los datos colectados por los sensores se procesaron con el programa *Diver-office versión 2008*. Con este programa se procesaron los registros de presión atmosférica, conductividad hidráulica, descensos y/o ascensos del nivel estático del agua en los 6 pozos donde fueron instalados los sensores.

2.2.3 Monitoreo estacional de la variación del Nivel Estático del Agua Subterránea (NEAS) en el área oeste de Managua

Se realizaron dos campañas de campo para realizar las mediciones de NEAS. La primera fue en julio y la segunda en noviembre del año 2009. Para las mediciones se usó una sonda de 100 m para niveles someros y una sonda de 300 m para NEAS más profundos. Estas sondas están compuestas por una cinta métrica y un electrodo en el extremo de dicha cinta. El electrodo emite un sonido al entrar en contacto con el agua indicando la lectura de la profundidad del NEAS (Fig. 6).



Figura 6: Mediciones de nivel de agua. a) Pozo localizado en el municipio de Mateare. b) Pozo de propiedad privada ubicado en la carretera Mateare Xiloá. Ambas mediciones se realizaron con la sonda de 100 m de longitud.

Durante la primera campaña de campo se localizaron y tomaron datos de 17 pozos clausurados. Estos se ubican en la península de Chiltepe, Mateare, Sector Los Brasiles, Ciudad Sandino, comarca Cuajachillo, Trinidad, y residencial Las Brisas. Más hacia el sur del área de estudio no fue posible medir los NEAS debido a que los pozos están en funcionamiento o colapsados.

La segunda campaña consistió en medir los NEAS en los pozos medidos en la primera campaña de campo, esto con el fin de observar posibles cambios en el NEAS.

2.2.4 Georeferenciación de la posición de los pozos

La obtención de las coordenadas X, Y, Z se llevó a cabo con el uso de instrumentos GPS del sistema Locus. El principio básico de investigación con GPS se basa en medir la distancia entre dos o más puntos de manera simultánea al utilizar dos o más dispositivos Locus. Generalmente se coloca una unidad Locus en un punto conocido (estación geodésica o banco de medición BM) y usarlo como base de medición. Los siguientes dispositivos se colocan en puntos con

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

coordenadas desconocidas. Teniendo todas las unidades instaladas se procede a medir simultáneamente por un período de tiempo (Ashtech Corporation, 1998), Fig. 7.

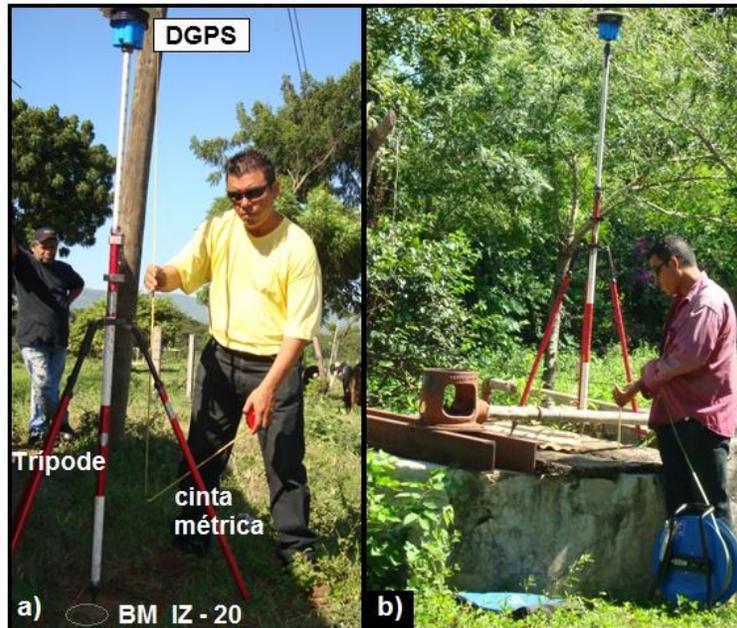


Figura 7: Mediciones con DGPS. En a) se observa el DGPS de base midiendo en la estación geodésica INETER, IZ – 20. En b) se observa el DGPS ubicado en el pozo de la finca Casa Blanca, en el cual también se tomaron datos del nivel del agua subterránea de dicho pozo, utilizando una sonda de 300 metros de longitud.

Este método fue utilizado para determinar posiciones precisas de los pozos donde se llevó a cabo el monitoreo tanto continuo como estacional de los NEAS. Esta información fue utilizada para obtener un valor más exacto del nivel freático referido a la elevación de la superficie de terreno (coordenada Z) de cada punto.

Los DGPS tienen un alcance de aproximadamente 20 km de distancia entre el dispositivo base y el dispositivo móvil.

El procesamiento de los datos registrados con los DGPS de los pozos medidos se realizó con el *Ashtech Solutions (versión 2.4)*, dando como resultado una localización más precisa de las coordenadas de los puntos de muestreo medidos en esta investigación.

3 Geología

3.1 Geología regional y Tectónica de Managua

Centroamérica es una zona cuya corteza terrestre es inestable, debido a que se ubica en el borde occidental de la placa tectónica del Caribe. Esta inestabilidad tectónica ha sido objeto de estudio de muchas investigaciones relacionadas a la tectónica de Centroamérica, dentro de los que se destacan: Dengo (1969, 1985), Elming (1985), Woodward – Clyde (1975), McBirney & Williams (1965), van Wyk de Vries (1993), Hernández et al. (1994), Girard & van Wyk de Vries (2005), Hradecký et al. (1997), Cowan et al. (2000) entre otros.

América Central cubre parte de cinco grandes placas tectónicas: Norte América, Caribe, Suramérica, Cocos y Nazca (Elming, 1985). Dengo (1985), define que la placa tectónica de Norte América la forman en parte los bloques Oaxaca y Maya. A la Placa Caribe le pertenecen los bloques Chortis, Chorotega y Choco (Dengo, 1969, 1985). Respecto a las placas Coco y Nazca no están divididas en bloques (Dengo, 1985).

El bloque Chortis abarca desde la parte sur de Guatemala, Honduras y norte de Nicaragua, extendiéndose al este por debajo de la placa Caribe y el banco de Nicaragua (Dengo, 1985). Según esta localización, Nicaragua se encuentra en la parte sur del bloque Chortis.

La Placa Coco es subducida por la Placa Caribe a una profundidad de 200 km y está expresada a través del graben o depresión de Nicaragua y la cadena volcánica activa (Hernández et al., 1994). La apertura del graben de Nicaragua inicia a finales del Terciario, Mio – Plioceno, continuando hasta la actualidad (McBirney & Williams, 1965). Asimismo, dicha estructura se extiende desde Guatemala hasta el norte de Costa Rica (Woodward – Clyde, 1975).

Woodward – Clyde, (1975), describen al Graben Nicaragüense como una estructura poco profunda con más de 300 km de longitud y 70 km de ancho. El

Graben presenta una dirección noroeste – sureste y cruza el territorio nacional en el sector occidental. De la misma forma presenta una orientación paralela a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana.

van Wyk de Vries (1993), concluyó que entre 30 y 50 km del graben, está limitado por la Falla Mateare, al oeste de la ciudad capital de Managua. Hradecký et al. (1997), propone que en los límites Sureste del Graben de Nicaragua se encuentra una zona prominente de fallamiento o fisuras que denominaron Graben de Managua.

En las investigaciones de van Wyk de Vries (1993), Hradecký et al. (1997), y Girard & van Wyk de Vries (2005), se determinó que los límites actuales del Graben de Managua son las principales fallas activas de Managua: Falla Cofradía localizada en la zona este con orientación NNE; Falla Nejapa situada en la parte oeste con orientación NNW y la falla Mateare en el extremo oeste del Graben (van Wyk de Vries, 1993). Girard & van Wyk de Vries (2005), establecen que el límite sur del graben es el complejo volcánico Las Sierras – Masaya conformado por la caldera de Masaya.

3.2 Geología de Managua

Tomando en cuenta las investigaciones geológicas realizadas en Nicaragua, y principalmente en la ciudad de Managua, el área de estudio se ubica al oeste del graben de Managua. Estudios hechos por McBirney & Williams (1965), Kuang (1971), Brown et al (1973), Woodward – Clyde (1975), Bice (1985), Hradecký et al. (1997), Cowan et al. (2000), Hradecký (2001), INETER (2003), Kutterolf et al. (2007), Espinoza (2007), Pardo (2008) y Avellán (2009); han estudiado las características geológicas de los depósitos volcánicos y sus fuentes, en diferentes sitios de la ciudad de Managua.

Según dichos estudios las condiciones estructurales de la zona, han originado una serie de estructuras y complejos volcánicos, tales como el volcán Apoyeque; los

maares Xiloá, Nejapa, Asososca, cráter Ticomo, y muchos remanentes volcánicos a lo largo de la Falla Nejapa (Espinoza, 2007).

Dentro de las estructuras principales de Managua tenemos la Falla Mateare, la Falla Wheelock, la Falla Nejapa, la Falla Estadio, la Falla Tiscapa, la Falla Aeropuerto y la Falla Cofradía, que a continuación se describen:

La Falla Mateare es un prominente escarpe topográfico que se extiende 30km al oeste de Las Sierras de Managua (Cowan et al., 2000). Brown et al (1973), sugiere que es una Falla activa.

La Falla Wheelock (INETER, 2003), fue descrita por Woodward – Clyde (1975) como Fractura Wheelock, y en su descripción define que se encuentra a 2.5km al oeste de la Falla Nejapa, y se observa como un escarpe arqueado y desplazado hacia el este.

Espinoza (2007), determina que la Falla Nejapa, que se localiza en la porción oeste del graben de Managua, es de tipo normal con un componente lateral, y tiene una dirección N – S. También sugiere que tiene una longitud de 24 km y un ancho de 2 km en su extremo sur y de 5 km en su extremo norte.

La Falla Estadio se encuentra en la parte occidental del graben de Managua en dirección este – sureste. Presenta rupturas a lo largo de una superficie de 2 km de longitud y se asoció con el terremoto somero del 31 de marzo de 1931 (Cowan et al., 2000).

Cowan et al. (2000), indican que la Falla Tiscapa, ubicada cerca de la laguna Tiscapa, es una serie de fallas que se orientan al NNE en la parte occidental del graben de Managua. La superficie de ruptura de estas fallas se produjo durante el terremoto del 23 de diciembre de 1972.

La falla Aeropuerto tiene una dirección N – SW, es asociada a una estructura oriental al este del escarpe topográfico que limita la porción oriental del graben de

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Managua, siendo la falla Aeropuerto aproximadamente de 15.2km (Cowan et al., 2000).

INETER junto con el Servicio Geológico Checo (CGS por siglas en inglés) realizaron un estudio geológico dentro del área de Managua (referenciado en este estudio como Hradecký et al., 1997). Este estudio consistió en la identificación y caracterización de los depósitos de Managua. Tomando en cuenta los datos digitales proporcionados por INETER (2003) a partir de este estudio se elaboró el siguiente mapa (Fig. 8). Este mapa muestra el ambiente geológico y las principales estructuras geológicas que se encuentran en el área de estudio.

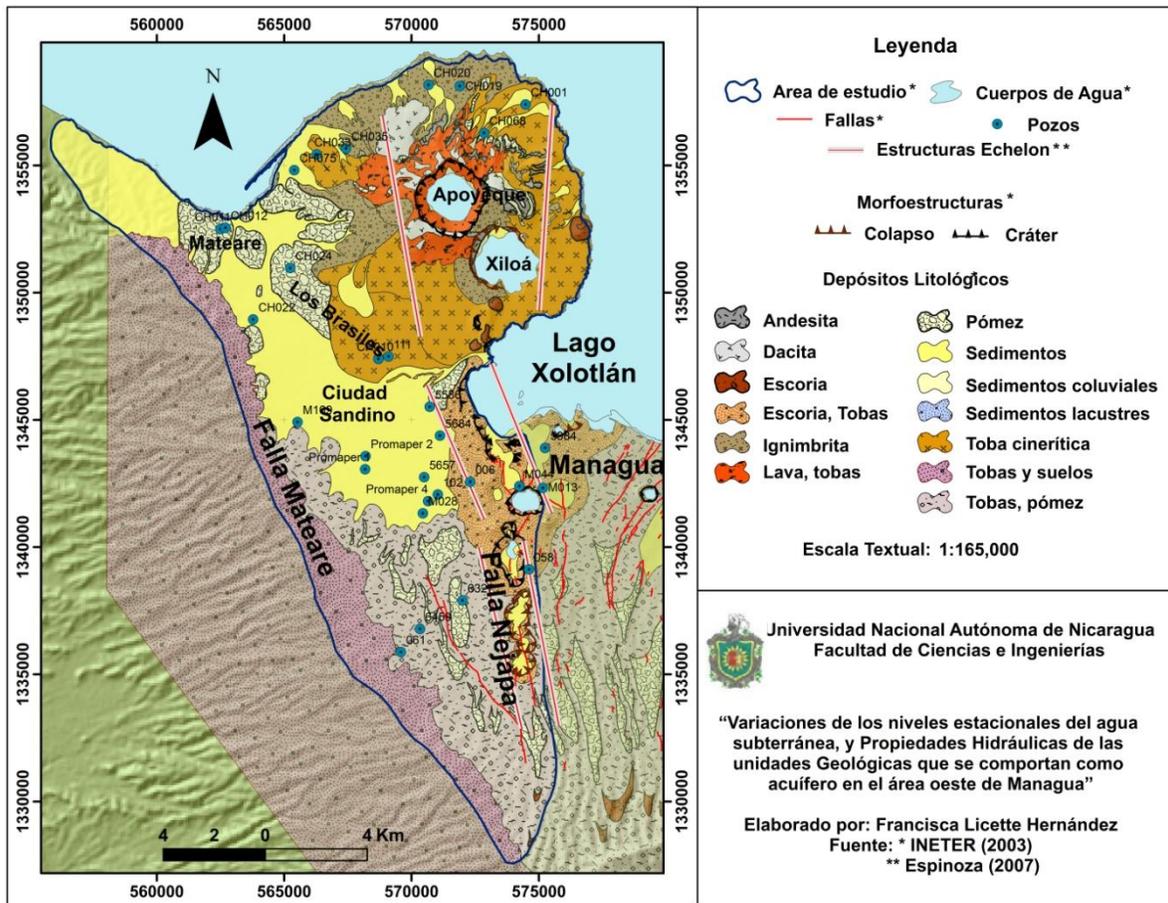


Figura 8: Mapa de los depósitos litológicos y las morfoestructuras del área de estudio. Fuente: INETER (2003), Espinoza (2007).

Hradecký et al. (1997), y Hradecký (2001), explican que la secuencia Managua revela grandes erupciones volcánicas en Nicaragua Central, definidas por piroclastos de caída de composición basáltica a riodacítica clasificados como eventos plineanos a freatomagmáticas. Según dichos estudios, sobre este grupo se depositaron secuencias piroclásticas del Grupo Las Nubes y del Grupo Managua.

La estratigrafía de la parte oeste de Managua es de mucha importancia para la interpretación de las columnas litológica de los pozos perforados en el área de estudio. Por lo cual se describirá a continuación, la estratigrafía presente en el área de estudio según las investigaciones realizadas por los autores antes mencionados.

Kutterolf et al. (2007), estudió las sucesiones volcanoclásticas del Complejo Volcánico de Chiltepe y de las calderas de Apoyo y Masaya. A estas sucesiones Kutterolf et al. (2007) las clasificó tefro – estratigráficamente en tres formaciones principales: Las Sierras (descritas por primera vez en McBirney & Williams, 1965), Chiltepe (incluida por Kutterolf et al., 2007) y Managua (mencionada inicialmente como Secuencia Managua por Bice, 1985).

Bice (1985), Sussman (1985), Pérez & Freundt (2006), Kutterolf et al., (2007) entre otros, han dividido a la Formación Managua en seis unidades litológicas: Tefra Apoyo Superior e Inferior (TAS, TAI), Triple Capa Masaya (TCM), Tefra San Antonio (TSA), Tefra La Concepción (TLC), Lapilli Ticuantepe (LT)

Avellán (2009), realizó una descripción detallada de la estratigrafía del occidente de Managua, a lo largo del segmento sur y central de la Falla Nejapa. En la columna tefro – estratigráfica presentada en dicho trabajo se agruparon los depósitos de Kutterolf et al. (2007) y se proponen nuevos depósitos, los cuales fueron agrupados en tres secuencias principales: Ticomo, Nejapa y Asososca (Fig. 9).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Edades C-14(años AP)	Unidad	Tipo de depósito	Características, fuente y distribución		
Holoceno	2,130+/-40	Tefra Asososca	Oleadas Piroclásticas	Sucesión de capas, con estructura masiva, plano paralela y dunas, constituida de bloques, lapilli y ceniza gruesa; Maar Asososca; zona central-oeste.	
	3,485+/-90	Toba Masaya	Caída de cenizas	Ceniza masiva, endurecida de color amarillento; Caldera Masaya; en toda el área.	
	4,090+110/-105	Tefra Chiltepe	Caída de pómez	Fragmentos de pómez tamaño lapilli y ceniza, generalmente se encuentra formando lentes; Volcán Apoyeque; en toda el área.	
	5,755 +/-90	Triple Capa Masaya	Oleadas Piroclásticas	Lapilli y ceniza interestratificada; Caldera Masaya; en toda el área.	
	7,135+/-125	Tefra A-Ticomo	Caída de escorias	Secuencia de capas de caídas de escoria de composición basáltica; Cono de escorias Altos de Ticomo; suroeste de la zona.	
	7,295+215/-210	Tefra Nejapa	Oleadas Piroclásticas	Sucesión de capas, con estructura masiva, plano paralela y dunas, conformada de fragmentos de lava andesitas-basálticas, ignimbritas, lapilli y ceniza; Maar Nejapa; zona central-suroeste.	
		Tefra Motastepe	Caída de escorias	Sucesión de capas de escoria juvenil tamaño lapilli, buena selección, grano soportado; Cono de escoria Motastepe; zona central.	
		Tefra El Hormigón	Caída de escorias	Bombas aglutinadas de composición basáltica, escoria juvenil tamaño lapilli; Cono de escoria El Hormigón; zona central.	
		Tefra Nejapa-N	Oleadas Piroclásticas	Secesión de 6 capas de bloques basálticos-ignimbriticos, lapilli gruesa y ceniza; Maar Nejapa Norte; zona central-oeste.	
		Lavas Batahola	Coladas de lavas	Lava masiva de composición basáltica; pre-Motastepe; zona central-norte.	
		Flujo Piroclástico de Ceniza	Flujo Piroclástico	Estructura masiva, con fragmentos de pómez amarilla y líticos tamaño lapilli, soportado por ceniza; fuente desconocida; zona central.	
		Tefra Satélite	Oleadas Piroclásticas	Lapilli soportado por una matriz de ceniza interestratificada con ceniza endurecida y lapilli acrecional; Cono de tobas Satélite; al noroeste.	
	9,380+280/-270****	Tefra Refinería	Oleadas Piroclásticas	Ceniza interestratificada, conformada por una secuencia de caídas de escoria, ceniza y lapilli acrecional; Cono de tobas Refinería; al noroeste.	
	CUATERNARIO		Tefra Cuesta El Plomo-S	Oleadas Piroclásticas	Constituido de lapilli medio a ceniza, con estructura masiva hacia la base y estructura plano paralelas en la porción superior; complejo de conos de tobas Cuesta El Plomo; al norte del área.
12,285 +280/-270		Tefra Apoyeque Superior	Caída de pómez	De gradación inversa, fragmentos subangulares y grano soportado; Volcán Apoyeque; en toda el área.	
		Tefra San Patricio	Caída de escorias	Secuencia de tres paquetes de caídas de escorias rojas: lavas y bombas aglutinadas, escoria masiva, y una secuencia de 72 capas de caídas con gradación normal. Cono de escorias San Patricio; zona central-oriental.	
24,650+/-120**		Tefra Apoyo Superior	Caída de pómez	Estructura masiva, con fragmentos angulosos, tamaño ceniza media; Volcán Apoyo; al sur de la región.	
		Toba Ticomo	Oleadas Piroclásticas	Paquete consolidado, de cinco capas superpuestas y estratificación tabular; complejo Ticomo; al sur y centro de la zona.	
		Tefra Embajada	Caída de escorias	Paquete de 20 capas de escoria juvenil y coladas de lavas basálticas en la base; Cono de escoria La Embajada; porción central.	
		Tefra Cuesta El Plomo-I	Oleadas Piroclásticas	Estructura masiva, color gris oscuro, endurecida, conformada de ceniza; del complejo de conos de tobas Cuesta El Plomo; al norte.	
Pleistoceno		~30,000***	Tefra Fontana	Caída de escorias	Paquete de seis horizontes de caída de escorias, intercalados con ceniza; provenientes de la Caldera Masaya; al sur y centro del área.
			Lavas Ticomo	Coladas de lavas	Tres flujos masivos de lava de composición andesita basáltica; fuente desconocida; al sur de la región.
		~34,000**	Ignimbritas	Flujo ignimbritico	Ignimbrita masiva con fragmentos de pómez de composición andesita basáltica; fuente desconocida en las laderas internas de la mayoría de los cráteres.

***Wehrmann et al. (2006)
 **Kutterolf et al. (2007)
 ****Pardo et al. (2008)

 Paleosuelo o Flujo de escombros

Figura 9: Sección estratigráfica elaborada por Avellán (2009).

4 Hidrogeología

4.1 Hidrogeología de Managua

Se han realizado diferentes estudios hidrogeológicos en Managua, con el fin de explorar y caracterizar el acuífero. A continuación se mencionan los de mayor relevancia para este estudio:

Krázný y Hecht (1998) clasificaron el territorio de Nicaragua en tres provincias hidrogeológicas: Pacífica, Central y Atlántica. Para dicha clasificación se basaron en las propiedades geológicas y las direcciones dominantes del flujo subterráneo. Como Managua pertenece a la Provincia del Pacífico se hace énfasis en esta zona.

Dicha provincia fue dividida en dos subprovincias (Rivas – Tamarindo y Graben Nicaragüense) y sucesivamente en una clasificación jerárquica de sistema, subsistema y cuenca hidrogeológica.

Subsistema Acuífero Managua (B₃)

Según Krázný y Hecht (1998), el límite occidental del subsistema Acuífero Managua (B₃), forma una divisoria natural del acuífero con dirección suroeste – noreste, pasando por la Península de Chiltepe. Consideran que el flujo de agua subterránea, en el acuífero B₃, fluye hacia una dirección norte – noreste, desde el límite meridional (divisoria hidrogeológica a lo largo de la cresta de las Cuestas de Diriamba) del subsistema B₃. También sugieren que solo en ciertas áreas la dirección del flujo varía, por ejemplo de esto es la Península de Chiltepe.

Krázný y Hecht (1998), dividen el Subsistema Acuífero Managua (B₃) en dos cuencas, la Cuenca de Cofradía (B_{3a}), y la Cuenca de Asososca (B_{3b}). La Cuenca de Asososca (B_{3b}), según ellos, se caracteriza por una depresión piezométrica alrededor de la laguna de Asososca. Esta depresión es causada por la extracción intensiva de agua subterránea de la laguna Asososca para el abastecimiento de Managua. Dichos autores señalan que la depresión se extiende hacia el sureste.

Subsistema Acuífero Mateare – Puerto Momotombo (B₄)

Krázný y Hecht (1998), determinan que este Subsistema comprende un área pequeña y se limita con la parte occidental del Lago de Managua que a su vez actúa como zona de descarga. También indican que la parte noroccidental del sistema sobresale hacia el norte, formando así una cuenca hidrogeológica entre los volcanes Momotombo y El Hoyo.

4.1.1 Acuífero de Managua

Parello et al. (2008), considera que el espesor del acuífero en el área de Managua es de 400 a 600 m. Este acuífero está compuesto por una sucesión de depósitos piroclásticos semi – consolidados, y permeables del Pleistoceno, sobre puesto por capas delgadas de aluviones y coluviales del Pleistoceno – Oligoceno.

MARENA y KTH (2000a), determinaron que el agua subterránea del acuífero de Managua proviene del agua de lluvia que se infiltra a través del suelo hasta alcanzar la zona de saturación. En este estudio se sugiere que la zona saturada o reservorio, se encuentra conformada por rocas del Grupo Las Sierras; mientras que los estratos del Grupo Managua vendrían a conformar la zona de aeración o zona vadosa.

Además, estimaron que el movimiento del sistema de flujo de agua, se da en las zonas altas (en los alrededores de la Meseta de los pueblos) y en el graben de Managua. Las altitudes de estas zonas varían desde los 925 msnm (en el sector de Casa Colorada – Las Nubes) hasta los 200 msnm (en las Serranías bajas de Mateare). La topografía desciende hasta alcanzar el área más baja con una altitud promedio de 40 msnm, a lo largo de la costa del lago de Managua, que a su vez es considerada la principal zona de descarga del acuífero.

JICA & INAA (1993), dividen el acuífero de Managua en tres Sub-áreas: Occidental, Central y Oriental (Fig. 10). Esta división fue realizada con el objetivo

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

principal de calcular el potencial de agua subterránea para la Ciudad de Managua y sus alrededores.

El área de estudio abarca incluso un área mayor que la Sub-área Occidental propuesta por JICA & INAA (1993), debido a que incluye la península de Chiltepe y una porción de la sub-área central. Hidrogeológicamente, el área de estudio se encuentra limitada al suroeste por el escarpe de la Falla Mateare, al norte por el lago de Managua y al este por una divisoria de agua subterránea entre la sub-área occidental y la sub-área central o por el alineamiento Nejapa – Miraflores (Fig. 10).

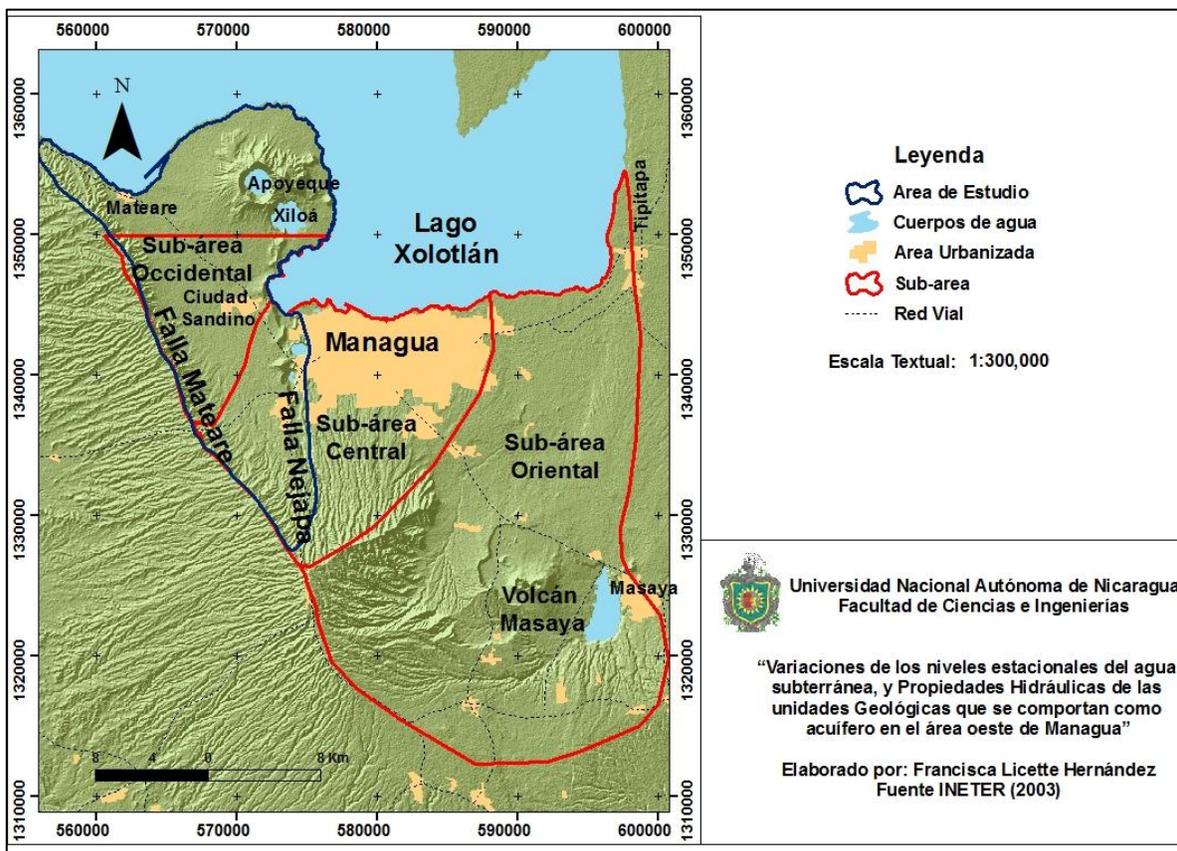


Figura 10: Mapa de localización de la Sub-áreas según JICA & INAA (1993).

4.2 Hidrogeología de la parte oeste de Managua

JICA & INAA (1993), indican que en la sub-área occidental el agua subterránea esta básicamente controlada por el sistema de fallas NNO – SSE del escarpe de falla Mateare.

Montgomery et al. (1979), indican que los depósitos que conforman las paredes de la laguna Asososca y que se localizan debajo del nivel del agua pertenecen a la Formación Las Sierras.

Hecht (1989), señala que de acuerdo a la dirección del flujo de agua subterránea, la zona de descarga es a lo largo de las orillas del lago de Managua o Xolotlán.

Murillo (2010), plantea que el flujo de las aguas subterráneas inicia en las zonas de recarga localizadas a lo largo del escarpe de la falla Mateare y finaliza en las zonas más bajas situadas a orillas del Lago de Managua.

JICA & INAA (1993), determinaron que existe una alto potencial de agua subterránea en la parte media norte de la sub-área occidental. Esto se debe a que las capas acuíferas de esta zona son altamente permeables, las cuales están constituidas principalmente por depósitos piroclásticos porosos poco consolidados, escoria, pómez y arena o capas arenosas del cuaternario.

Rivera (2010), llevo a cabo una caracterización hidro – geológica de la parte oeste del acuífero de Managua. En su estudio determina que el acuífero se encuentra caracterizado por depósitos volcánicos heterogéneos, entre ellos los depósitos de oleadas y de caída, independiente de su litología, poseen las mejores propiedades hidro – geológicas.

4.2.1 Características acuíferas de las formaciones geológicas

Para entender el comportamiento del acuífero de la parte oeste de Managua, es importante conocer las características de las formaciones geológicas que lo conforman, las cuales fueron descritas por Montgomery et al. (1979), de la siguiente manera:

Depósitos Lacustres (Ql): Los materiales de esta formación ocurren como sedimentos del fondo de la laguna de Nejapa y también por debajo del lago de Managua. Los depósitos lacustres en ambos lugares están constituidos por estratos de texturas fina que retardan severamente el movimiento de las aguas superficiales hacia los acuíferos subyacentes y adyacentes.

Depósitos Vulcano–aluviales (Qval): Compuesta por detritos granulares de piroclastos no consolidados y de material aluvial. Los depósitos vulcano–aluviales están en continuidad hidráulica en el grupo subyacente de Las Sierras (Qlsm) en las áreas localizadas al sur de la Laguna Asososca y en la región que se extiende hacia el lago de Managua incluyendo la laguna Acahualinca.

Depósitos piroclásticos no consolidados (Qp): Ocurren generalmente como un manto delgado de material granular no consolidado sobre el nivel freático del acuífero. Estos depósitos son muy permeables y constituyen un medio importante de recarga.

Grupo Las Sierras/Managua (Qlsm): Esta formación incluye la zona más importante del acuífero y se extiende en toda la región de Managua. La formación esta generalmente semi – consolidada y su espesor máximo perforado han sido de 185 m.

Por otro lado, JICA & INAA (1993), indican que las formaciones acuíferas principales de Managua son tres: los depósitos aluviales con materiales piroclásticos Cuaternarios, el Grupo volcánico Masaya y el Grupo Las Sierras

Medio. A continuación se presenta la descripción hidrogeológica hecha por JICA & INAA (1993) para la parte oeste de Managua específicamente:

Depósitos aluviales (Qal): los depósitos aluviales están principalmente distribuidos en el Valle Los Brasiles, entre el Escarpe de la Falla Mateare y la cadena volcánica de Apoyeque, Asososca, Nejapa y Ticomo.

El Valle Los Brasiles está relleno de depósitos coluviales proveniente del Escarpe de la Falla Mateare, de depósitos lacustres compuestos de arena, limo y arcilla y de materiales piroclásticos cuaternarios tales como pómez y escoria. El acuífero principal se encuentra en las capas de arena gruesa, pómez y escoria. Los pozos en la parte nor – occidental del Valle con una profundidad de 120 a 150 m producen de 2000 a 6000 m³/día.

4.2.2 Variación en los niveles de agua subterránea

Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1972), estudiaron las fluctuaciones del nivel del agua subterránea con variaciones encontradas de 1.19 m en la zona principal de recarga, en el extremo sur de la cuenca y 0.80 m en la región de la costa del lago.

Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1972), además, asume que el flujo del agua subterránea se realiza hacia el norte de lo que ellos llaman cuenca Los Brasiles – Chiltepe, hoy denominada Chiltepe – Mateare por INETER (2009). También determinan que el agua fluye desde los alrededores de la Laguna de Apoyeque, hacia el centro de la cuenca, cambiando de curso en esta parte, para descargar en el norte hacia el Lago de Managua.

JICA & INAA (1993), establece que la forma de la superficie freática de la sub-área occidental es controlada por condiciones topográficas y geológicas. Las condiciones geológicas podrían ser por la disposición de los estratos rocosos, fallas y estratigrafía del área de estudio. Tomando en cuenta estas características, el autor concluye que el agua subterránea ocurre de forma no confinada.

MARENA y KTH (2000c) realizó un análisis de susceptibilidad a cambios en los niveles freáticos, en el cual identificó tres áreas con diferentes condiciones:

Áreas muy susceptibles a cambios en los niveles freáticos: Se encuentran a lo largo de la zona costera del lago de Managua, en la parte noroeste de la península de Chiltepe, y en áreas de influencia de las lagunas de Asososca y Nejapa.

Áreas que puedan ser susceptibles a cambios en los niveles freáticos: Ubicadas entre las curvas topográficas del terreno de 80 a 100 msnm, donde la profundidad del agua subterránea varía de 20 – 50 m.

Áreas no susceptibles a cambios en los niveles freáticos: Se encuentran entre las cotas topográficas que oscilan entre 100 a 900 msnm y profundidades del nivel freático que varían de los 50 a 300 m de profundidad.

PROMAPER (2004), asume que los datos de los pozos indican que los niveles son más elevados en Ciudad Sandino que en el sur de Bello Amanecer. Por lo cual sugiere que el flujo no es homogéneo.

INETER (2009), mantiene un monitoreo del agua subterránea en pozos excavados y perforados del acuífero de Managua. De los pozos ubicados dentro del área de estudio se obtuvo la información mostrada en la tabla 2.

Tabla 2: Variación de niveles de agua subterránea durante el periodo seco y lluvioso en pozos excavados y perforados (Fuente: INETER, 2009)

ID	Pozo	Año	Nombre	NEAS (m)	Periodo
PE-61	Excavado	2009	Finca San Isidro de los Bosque de Xiloá	7.57 m	seco
PE-61	Excavado	2009	Finca San Isidro en los Bosque de Xiloá	7.33 m	lluvioso
PE-27	Excavado	2009	Finca EL Rosario (Penin. Chiltepe)	47.47 m	seco
PE-27	Excavado	2009	Finca EL Rosario (Penin. Chiltepe)	47.38 m	lluvioso
PP-57	Perforado	2009	Carretera a Xiloá	54.02 m	lluvioso
PP-57	Perforado	2009	carretera a Xiloá	54.25 m	seco
PZ-3	Perforado	2009	Mateare	9.37 m	seco
PZ-3	Perforado	2009	Mateare	8.96 m	lluvioso

INETER (2009), midió en pozos excavados y perforados (tabla 2) en los periodos seco y lluvioso y obtuvo una variación en los niveles de agua subterránea que va desde 0.09 a 0.24 m para los pozos excavados, y para los pozos perforados encontró una variación de 0.23 a 0.41 m. Además, concluye que el agua subterránea, drena en dos direcciones:

1) Desde el Sur, en la zona alta de Las Sierras de Managua, hacia el Norte, hasta el Lago de Managua, pasando por Mateare. Los valores piezométricos varían de 180 msnm a los 38 msnm.

2) Desde el Sur, en la zona alta de Las Sierras de Managua, hacia el Noreste, en el Lago de Managua, pero en dirección de la Laguna de Acahualinca. Las curvas piezométricas varían de 480 a 45 msnm.

4.2.3 Propiedades hidráulicas del área de estudio

Transmisividad

Según los cálculos realizados por JICA & INAA (1993), la sub – área Occidental tiene un promedio de transmisividad (T) de 821 m²/día (9.5×10^{-3} m²/s), con 509 m²/día (5.89×10^{-3} m²/s) en el área volcánica de Asososca – Ticomo. La Capacidad Especifica es de 673.44 m³/día/m, y de 417 m³/día/m respectivamente.

Dentro de los resultados de Krázný y Hecht (1998), se encuentran los siguientes índices de transmisividades:

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Tabla 3: Valores de transmisividad calculados por Krázný y Hecht (1998). Los resultados mostrados en la tabla corresponden a los calculados dentro del área de estudio.

No.	42	43	44	47
Hoja del mapa	Chiltepe			Managua
Área	Los Cedros – Corpus Cristi	Mateare y alrededores	Los Brasiles y alrededores	Cercanías de la laguna Asososca
Índice de Transmisividad	12	8	9	11
Transmisividad (m ² /día)	1300	580	690	360
Transmisividad (m ² /s)	1.50E – 2	6.71E – 3	7.99E – 3	4.17E – 3
Clase	I – II b	II (-I) c	II (-I) b	II c

MARENA y KTH (2000c), determinaron que las mayores transmisividades corresponden a las áreas aledañas a las lagunas Asososca y Nejapa, y las áreas costeras del lago de Managua en las cercanías de la Península de Chiltepe.

PROMAPER (2004), afirma que la transmisividad en Ciudad Sandino es del orden de 800 m²/día (9.25×10^{-3} m²/s), lo que se considera elevado y que corresponde a un buen acuífera.

Conductividad Hidráulica

JICA & INAA (1993), también calculó la conductividad hidráulica, de la cual obtuvo para la laguna Asososca, de 0.07 – 4.0 m/día (8.10×10^{-7} – 4.63×10^{-5} m/s) en la zona montañosa, y de 10 – 400 m/día (1.16×10^{-3} – 4.63×10^{-3} m/s) en las zonas bajas.

MARENA y KTH (2000a): calcularon los valores de la conductividad hidráulica para la zona oeste del acuífero de Managua. De acuerdo a los resultados obtenidos subdividió el área según los valores de conductividad a como se detalla a continuación:

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Sub – área C1 [4.63×10^{-7} m/s – 4.63×10^{-5} m/s]: esta área se localiza a lo largo de la falla Mateare, incluyendo el complejo volcánico Ticomo.

Sub – área C2 [4.63×10^{-5} m/s) – 1.39×10^{-4} m/s]: se presenta en los sectores norte, sur y oeste de la caldera de las lagunas de Apoyeque y Xiloá.

Sub – área C3 y C4 [1.39×10^{-4} m/s – 3.24×10^{-4} m/s, 3.24×10^{-4} m/s – 4.63×10^{-4} m/s]: Distribuyéndose a lo largo de la costa del lago que bordea la península de Chiltepe y el municipio de Mateare.

Sub – área C5 [4.63×10^{-4} m/s – 9.26×10^{-4} m/s]: Para el sector norte de la laguna Asososca.

Murillo (2010), realizó un modelo conceptual del flujo en la parte oeste del acuífero de Managua. En esta investigación, se estimaron valores de conductividad hidráulica en el rango de 1×10^{-6} a 2×10^{-3} m/sec, el cual se clasificó en baja, moderada y alta. A continuación se presenta la clasificación propuesta en este estudio.

- Baja conductividad hidráulica, entre 1×10^{-6} y 1×10^{-5} m/s.
- Conductividad hidráulica moderada, entre 2×10^{-5} y 1×10^{-4} m/ s.
- Conductividad hidráulica alta, entre 2×10^{-4} y 2×10^{-3} m/s.

5 Resultados

De la presente investigación se obtuvieron tres tipos de resultados: interpretación hidrogeológica de 32 pozos; análisis de variaciones de los niveles de agua subterránea en 17 pozos; y propiedades hidráulicas en 8 pozos localizados dentro del área de estudio.

5.1 Variaciones de niveles de agua en el área de estudio

5.1.1 Monitoreo continuo

A continuación se presentan los resultados obtenidos del monitoreo continuo realizado con los sensores Diver en cada uno de los pozos. Estos resultados incluyen gráficos de presión, temperatura y conductividad del agua (específicamente en el pozo Trinidad II), cada uno con respecto al tiempo:

Cabe mencionar que los datos presentados en los gráficos de presión (presión ejercida por la columna de agua del pozo), tomando en cuenta que $1\text{bar} = 10\text{ mH}_2\text{O}$. Estos datos representan variaciones de los niveles de agua subterránea en función del tiempo;

Pozo los Cabros:

El gráfico 2 muestra que la curva de la presión asciende gradualmente desde finales de mayo a finales de octubre del 2009. Periodo en que los niveles del agua variaron de $18.75\text{ mH}_2\text{O}$ (43.56 msnm) hasta $19.02\text{ mH}_2\text{O}$ (43.83 msnm). El salto que presenta la curva, durante el mes de noviembre, es debido a un error en la colocación del Diver, el sensor fue colocado a una profundidad inadecuada que excedía la capacidad del aparato, por tal razón el sensor no registró información alguna.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

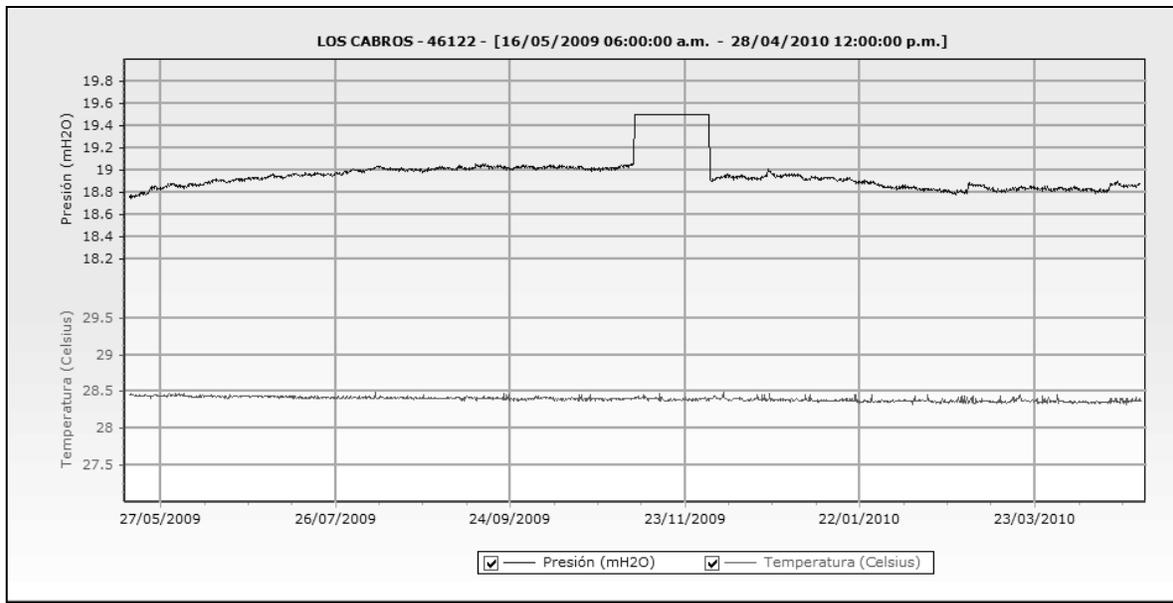


Gráfico 2: Resultados obtenidos en el Pozo los Cabros. Pozo propiedad de la Universidad Centroamericana (UCA).

En la parte derecha de la curva de presión, se observa que esta comienza a descender gradualmente desde inicios de noviembre hasta finales de febrero del 2010. El nivel del agua descendió desde 18.9 mH₂O (43.71 msnm) hasta alcanzar un valor aproximado de 18.8 mH₂O (43.61 msnm). A partir de este punto los valores permanecieron en un rango casi constante de 0.1 msnm.

En la parte inferior del gráfico 2, se muestra la curva de temperatura del agua en este pozo. De manera general, la curva presenta un descenso leve durante todo el periodo de medición. Los valores mínimos y máximos de este parámetro se mantienen en el rango 28.46 °C y 28.36 °C, es decir de 0.1°C, cuyos extremos corresponden a los meses de mayo (2009) y abril (2010) respectivamente.

Pozo Los Brasiles:

Los registros del Diver colocado en este pozo se obtuvieron del 16 de Mayo al 05 de Agosto del 2009 debido a la pérdida del sensor (Gráfico 3).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

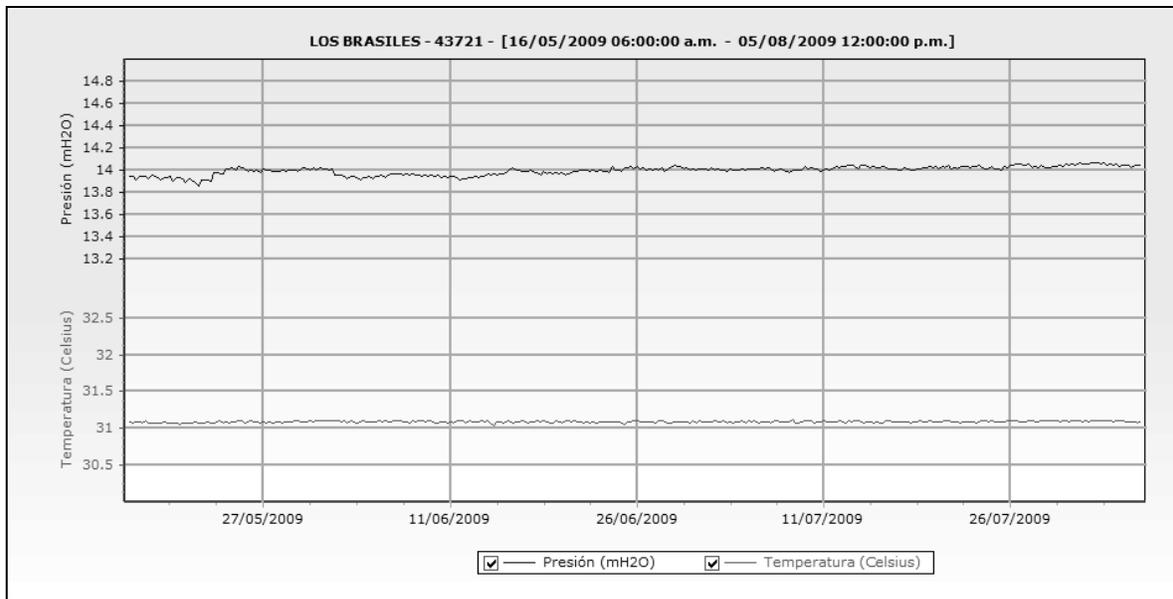


Gráfico 3: Resultados obtenidos en el Pozo Los Brasiles.

Los niveles del agua mostrados en dicho gráfico presentan valores de presión que oscilan entre 13.85 mH₂O (42.27 msnm) y 14.05 mH₂O (42.47 msnm), siendo esta una variación de 0.2 mH₂O (0.2msnm).

Con respecto a la temperatura de la columna del agua, el gráfico 3 presenta valores constantes de 0.02, que están en el rango 31.09 °C a 31.11 °C, cuyos extremos corresponden a Mayo (2009) y Agosto (2009) respectivamente.

Pozo Ciudad Sandino 1:

En el gráfico 4, se observa que la presión asciende gradualmente, desde 28.55 mH₂O (33.10 msnm), a mediados de Mayo; hasta alcanzar 28.92 mH₂O (33.47 msnm) en Septiembre. Esto significa que la variación en el nivel de agua fue de 0.37 m. Luego se registró un descenso del nivel hasta 28.09 mH₂O (32.64 msnm), durante Diciembre del 2009 (representando así el valor mínimo registrado en este punto).

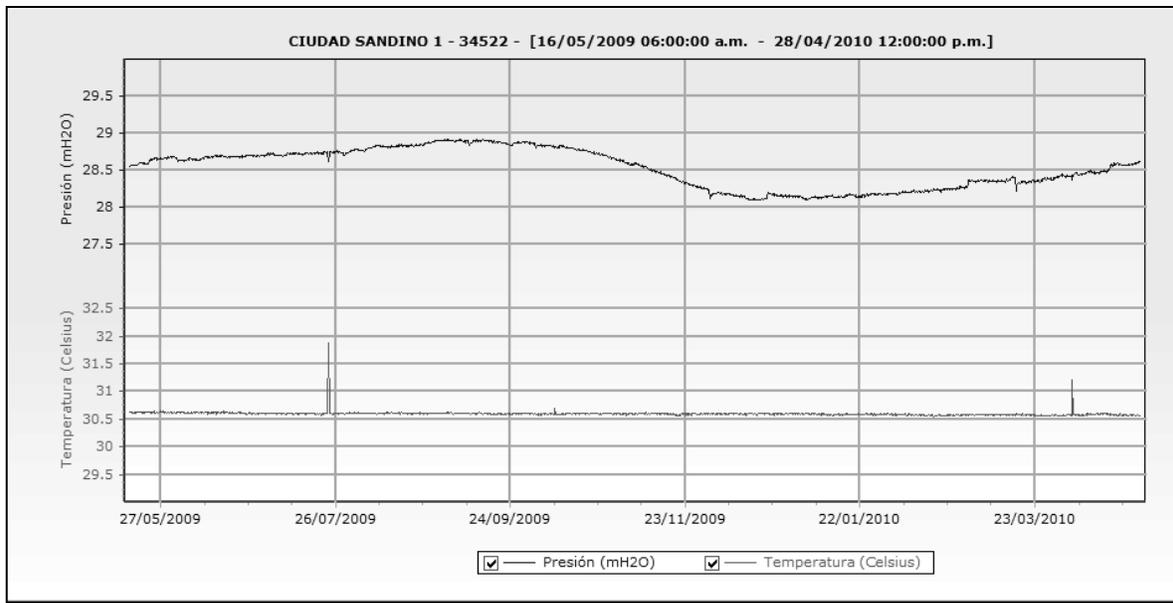


Gráfico 4: Resultados obtenidos en el Pozo Ciudad Sandino 1 (5586). Pozo propiedad de ENACAL.

Finalmente, en la parte derecha de la curva de presión, se puede observar un periodo donde se incrementó nuevamente el nivel del agua subterránea (que se mantuvo hasta el final de la medición en abril 2010 hasta alcanzar un nivel aproximado a su valor inicial. Dicho incremento indica un periodo de recarga o recuperación en el nivel del agua subterránea, lo que podría sugerir que las condiciones de equilibrio del sistema del acuífero son positivas.

Las variaciones de temperatura en el pozo Ciudad Sandino 1 muestran $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}$, y se muestran de con una leve disminución de $30.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ en Octubre 2009 hasta $30.54\text{ }^{\circ}\text{C}$ en Febrero 2010. En el sensor se registraron algunos valores atípicos que no son representativos.

En el gráfico 5 se presenta el registro del sensor barométrico, la presión en superficie se mantiene constante, por lo que no resulta necesario realizar una compensación de los registros tomados con el sensor de presión de columna de agua instalado en este pozo.

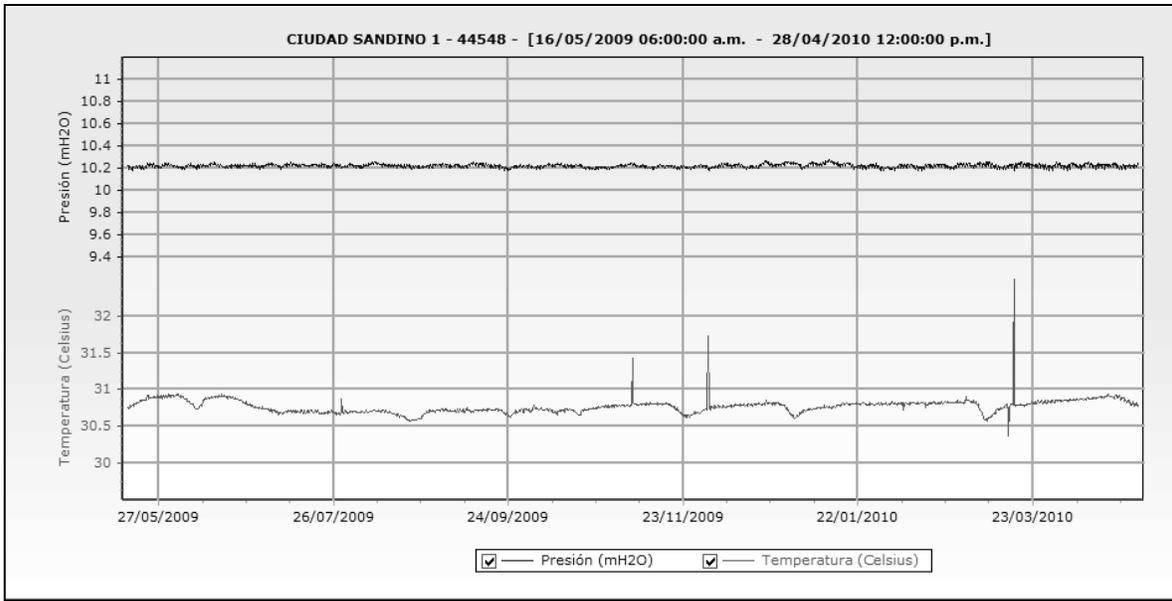


Gráfico 5: Resultados obtenidos con el baro Diver en el Pozo Ciudad Sandino I (5586).

La temperatura en superficie, medida por el sensor barométrico en el pozo Ciudad Sandino I, se mantuvo entre los 30.95 °C y los 30.37 °C, teniendo una variación de 0.58 °C. También se observan datos atípicos en la curva de temperatura en este pozo. Si comparamos estos valores con los valores de la temperatura medida por el sensor Diver, se puede decir que no existe una diferencia considerable entre ambas. Esto coincide con el hecho, que la temperatura del ambiente registrada en el área de estudio, puede influir directamente en el valor de la temperatura del agua subterránea.

Pozo El Cuadro:

El gráfico 6 muestra que la curva de la presión asciende gradualmente desde mediados de mayo hasta inicios de diciembre del 2009. Periodo en el que los niveles del agua variaron de 16.68 mH₂O (43.24 msnm) hasta 16.96 mH₂O (43.52 msnm) lo que equivale a un ascenso de 0.28 m. A partir de diciembre la curva comienza a descender hasta alcanzar un valor de 16.54 mH₂O (43.10 msnm) Lo que representa un descenso de 0.42 m en el nivel del agua durante el periodo Diciembre 2009 a mayo 2010.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

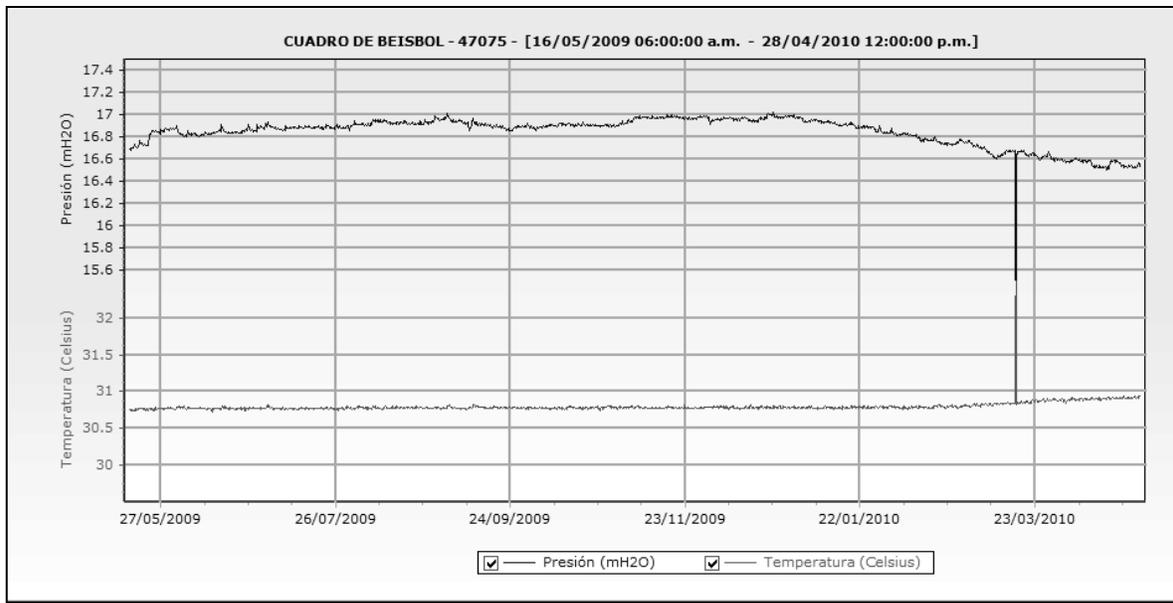


Gráfico 6: Resultados obtenidos en el Pozo El Cuadro.

En la parte inferior del gráfico (6), se muestra la curva con los registros de temperatura del agua en este pozo. La curva presenta una temperatura constante desde mediados de Mayo 2009, con promedio de 30.76 °C hasta finales de febrero 2010 con 30.81 °C, siendo una variación de 0.05 °C. En ambos casos, (presión y temperatura), se obtuvo un dato atípico que no es representativo del área, estas se encuentran a mediados de marzo 2010.

Pozo Trinidad II:

Debido a problemas con la seguridad del equipo, este tuvo que ser extraído del pozo a principios de junio del 2009 y reinstalados a mediados de agosto del mismo año, por lo cual existe un lapso de tiempo de Mayo a diciembre (2009) de datos que no existen.

En el grafico 7, la presión ejercida por la columna de agua en el pozo incrementa irregularmente desde 15.99 mH₂O (45.48 msnm) a mediados de Mayo 2009, hasta 16.29 mH₂O (45.78 msnm) en Diciembre 2009, siendo una variación de 0.3 mH₂O (0.3 msnm). La menor presión fue de 15.98 mH₂O (45.47 msnm) en Agosto 2009,

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

y la mayor presión registrada fue de 16.76 mH₂O (46.25 msnm) en Octubre 2009, resultando un ascenso en el NEA de 0.78 m. El promedio de la presión en este pozo es de 0.54 mH₂O (0.54 msnm).

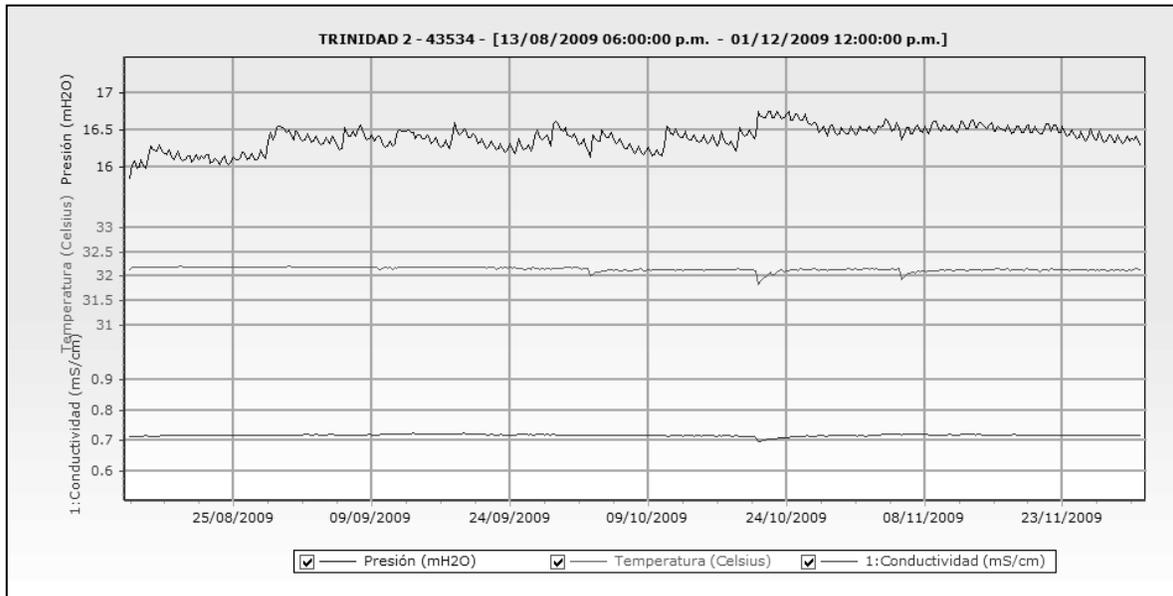


Gráfico 7: Resultados obtenidos en el Pozo Trinidad II (presión, temperatura y conductividad).

En la Temperatura del gráfico 7, se observan variaciones con un leve descenso irregular, en el cual la temperatura comienza de 32.42 °C en Octubre 2009, y finaliza con 32.11°C en diciembre 2009, el descenso fue de 0.31 mH₂O (0.31 msnm). De esto la temperatura máxima es de 32.54 °C en Mayo 2009, y la mínima es de 32.03 °C en Octubre 2009, teniendo una disminución de 0.51°C.

En el gráfico 7, la conductividad muestra desde Mayo 2009 hasta Diciembre 2009 un valor casi constante. De los registros de la conductividad el menor valor es de 0.68 mS/cm a mediados de Mayo 2009 y el mayor valor fue de 0.72 mS/cm en Septiembre 2009, obteniéndose una variación de 0.04 mS/cm.

El gráfico 8, muestra que la variación de la presión barométrica en el pozo Trinidad II se mantiene en 0.01 mH₂O (0.01 msnm), inicia con 10.16 mH₂O a mediados de Mayo 2009, hasta llegar a 10.15 mH₂O a principio de Diciembre 2009.

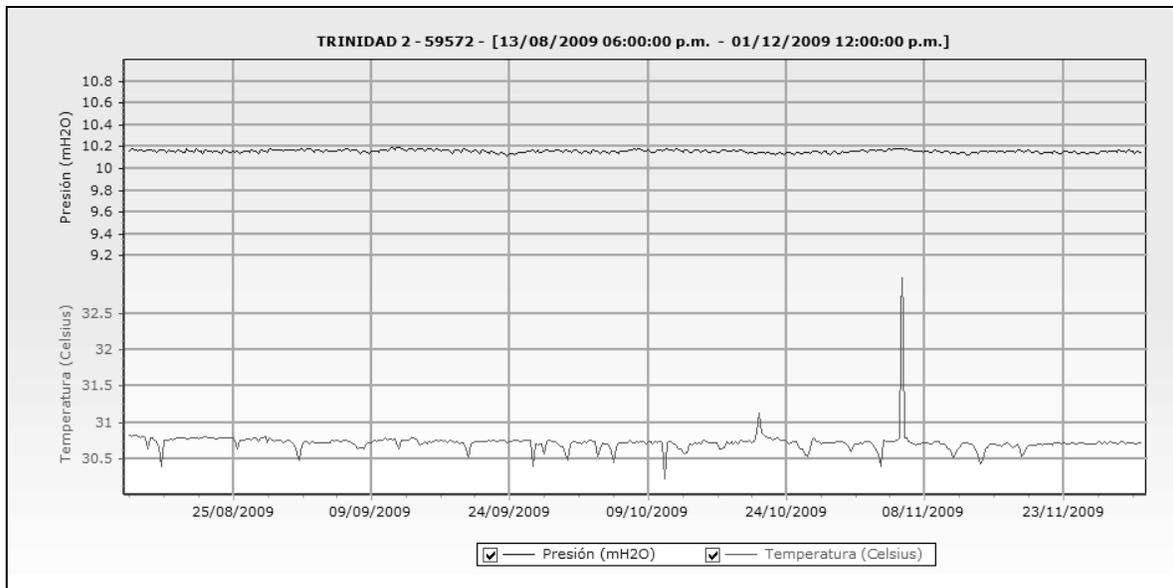


Gráfico 8: Resultados obtenidos con el baro Diver en el Pozo Trinidad II

La temperatura en el gráfico (8) se observa más irregular que la presión, oscilando de 30.86°C en mayo 2009 hasta 30.72°C en diciembre 2009. De estos datos la temperatura más alta registrada es de 30.90°C, y la más baja es de 30.18°C ambos datos a mediados de mayo.

Pozo Las Brisas:

El gráfico 9 muestra que la curva de presión se comporta de manera irregular durante todo el trayecto de medición. La primera parte de la gráfica permanece fluctuando entre 15.86 mH₂O (38.90 msnm), luego asciende, a principio de Septiembre, hasta alcanzar un valor constante de 15.96 mH₂O (39 msnm), disminuyendo a finales de septiembre con 15.80 mH₂O (38.84 msnm), en este punto vuelve aumentar hasta mediado de noviembre con un valor de 15.96 mH₂O (39 msnm) y por ultimo gradualmente baja hasta 14.86 mH₂O (37.9 msnm) a finales de abril 2010. Es decir que la variación del NEAS fue de 1.1 mH₂O (1.1 msnm) a lo largo de todo el periodo de medición.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

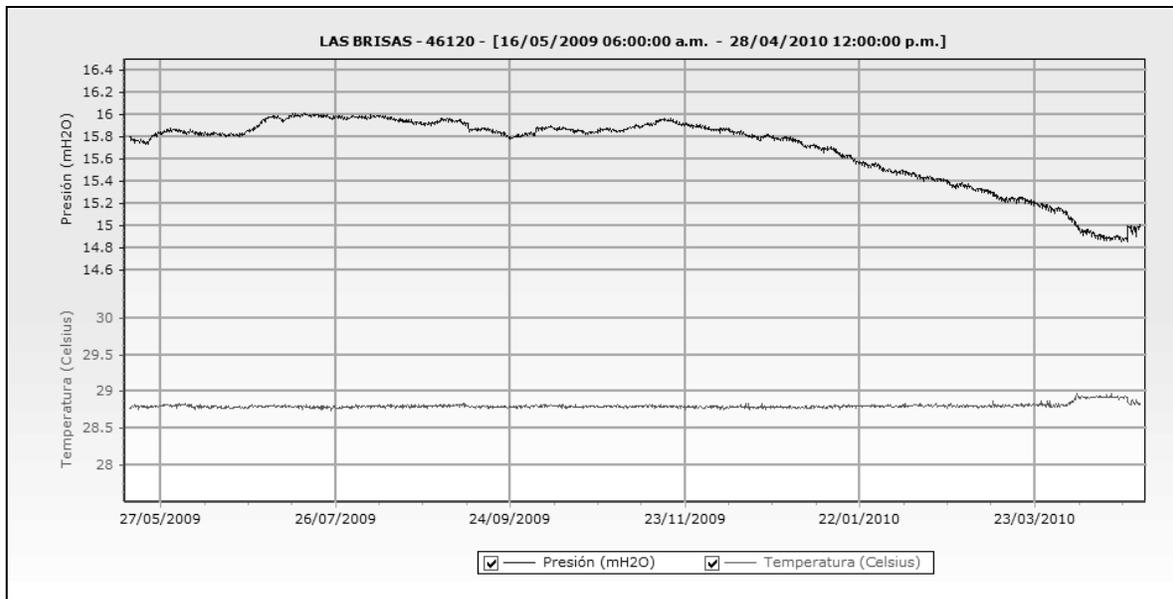


Gráfico 9: Resultados obtenidos en el Pozo Las Brisas.

En la parte inferior del gráfico 9, se muestra la curva de temperatura del agua en el pozo Las Brisas. De manera general, la curva se presenta irregular (con valores altos y bajos), manteniéndose así hasta principios de Abril 2010. Los valores mínimos y máximos de este parámetro se mantienen en un rango entre 28.78 °C y 28.87 °C, con una variación de 0.09 mH₂O (0.09 msnm). Luego la curva de la temperatura sube hasta los 28.92 °C a mediados de abril y finalmente baja alcanzando 28.82 °C a finales de abril 2010, observándose una variación de 0.2 °C. El promedio de variación de la temperatura es de 0.19 °C.

5.1.2 Mediciones Estacionales

Para realizar las mediciones estacionales del agua subterránea, en la parte oeste de la ciudad de Managua, se llevó a cabo el trabajo de campo expuesto en el capítulo 2.2. Como se menciona en la sección 2.2.3 las mediciones se realizaron durante los meses de julio y noviembre.

En el área de estudio existen más de 120 pozos entre excavados y perforados, pertenecientes a ENACAL y propiedades privadas. Durante este estudio se midió

el nivel estático del agua subterránea (NEAS) en 17 pozos. De los cuales 8 pozos son perforados y 9 excavados (Fig. 11).



Figura 11: Medición de NEAS. a) Pozo perforado Filos de Cuajachillo, localizado al sur del escarpe Mateare b) Pozo excavado Los Laureles, localizado al suroeste de Ciudad Sandino.

La selección de estos 17 pozos se basó en los siguientes criterios:

- La mayoría de los pozos ubicados en el área de estudio se encontraban en funcionamiento, y uno de los objetivos de esta investigación era obtener datos de los niveles estáticos del agua subterránea, en el área oeste del acuífero de Managua, y no datos de niveles dinámicos.
- Fue imposible ubicar en el campo algunos pozos durante la etapa de reconociendo e inventario de los mismos pozos.
- Algunos pozos que se lograron ubicar presentaban problemas de derrumbe y/o colapso de tubería. Y algunos otros se encontraban completamente sellados, lo que impedía la medición.
- Asimismo, en muchos casos enfrentamos la situación de que los dueños se reusaban a dar permiso para realizar el trabajo.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Los sitios de medición se distribuyen en las áreas de Mateare, Península de Chiltepe, Xiloá, Los Brasiles y Ciudad Sandino. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en cada una de las mediciones:

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Tabla 4: Resultados de las mediciones de NEAS durante el año 2009. Las variaciones negativas significan que el NEAS ascendió, las positivas que el NEAS descendió. Exc es para pozo excavado y Perf es para pozo perforado.

ID	Nombre	Observ.	Este	Norte	Elev.Pozo (msnm)	Profun. total (m)	Fecha	NEAS (m)	Fecha	NEAS (m)	Variación NEAS (m)
1	Mateare	Exc.	562482.489	1352791.23	52.892	13.44	30/07/09	12.4	06/11/09	12.94	-0.54
2	Filos de Cuajachillo	Perf.	566270.623	1337724.084	447.404	228.2	03/07/09	223.09	18/11/09	223	0.11
3	El Paraíso	Exc.	565589.502	1354665.114	50.194	10.53	11/08/09	6.77	06/11/09	10.06	-3.29
4	El Rosario	Exc.	567588.592	1355246.657	87.691	50.3	11/08/09	47.85	06/11/09	48.22	-0.37
5	Santa Fe	Exc.	570424.665	1357593.964	64.032	27.49	11/08/09	22.77	16/11/09	22.94	-0.17
6	San Luis	Exc.	573813.464	1357703.424	66.06	35	11/08/09	25.8	06/11/09	25.92	-0.12
7	El Socorro	Exc.	565139.442	1350604.999	64.313	26.8	13/08/09	23.32	06/11/09	23.47	-0.15
8	La Fortuna	Perf.	567301.471	1351080.837	97.071	55.1	13/08/09	54.85	16/11/09	54.75	0.1
9	Casa Blanca	Exc.	567400.421	1343192.698	127.534	83.75	14/08/09	82.1	17/11/09	82.16	-0.06
10	Los Laureles	Exc.	568758.017	1343729.776	109.91	69.5	14/08/09	66.74	17/11/09	66.79	-0.05
11	Las Tres Hermanas	Exc.	565921.719	1344924.594	121.445	80.41	17/08/09	77.43	17/11/09	77.42	0.01
12	Las Brisas	Perf.	574928.828	1344314.067	49.042	149	05/08/09	10.81	05/11/09	10.89	-0.08
13	El Cuadro	Perf.	571121.311	1344383.181	99.556	186	30/07/09	58.05	05/11/09	58.16	-0.11
14	Los Cabros	Perf.	563786.541	1348951.061	104.808	102.1	05/08/09	61.6	05/11/09	61.64	-0.04
15	Los Brasiles	Perf.	569098.183	1347492.559	70.422	88.39	05/08/09	28.18	05/11/09	28.5	-0.32
16	Trinidad II	Perf.	568180.023	1343063.308	120.492	199.1	30/07/09	76.49	05/11/09	76.5	-0.01
17	Ciudad Sandino I	Perf.	570717.373	1345519.312	94.554	85.4	05/08/09	52.6	05/11/09	52.62	-0.02

De los 17 pozos medidos en el área de estudio durante el mes de Julio y Noviembre, se encontró que en tres de ellos el nivel del agua subterránea aumentó. Se trata de los pozos de Filos de Cuajachillo (0.11 m), La Fortuna (0.10 m) y Las Tres Hermanas (0.01 m).

Por otro lado en los otros 14 pozos medidos en el área de estudio se observaron descensos del NEA. En el pozo Trinidad II, es en el cual se presentó el menor descenso del NEAS, de 0.01 m; y el mayor descenso es el de El Paraíso de 3.29 m (gráfico 11).

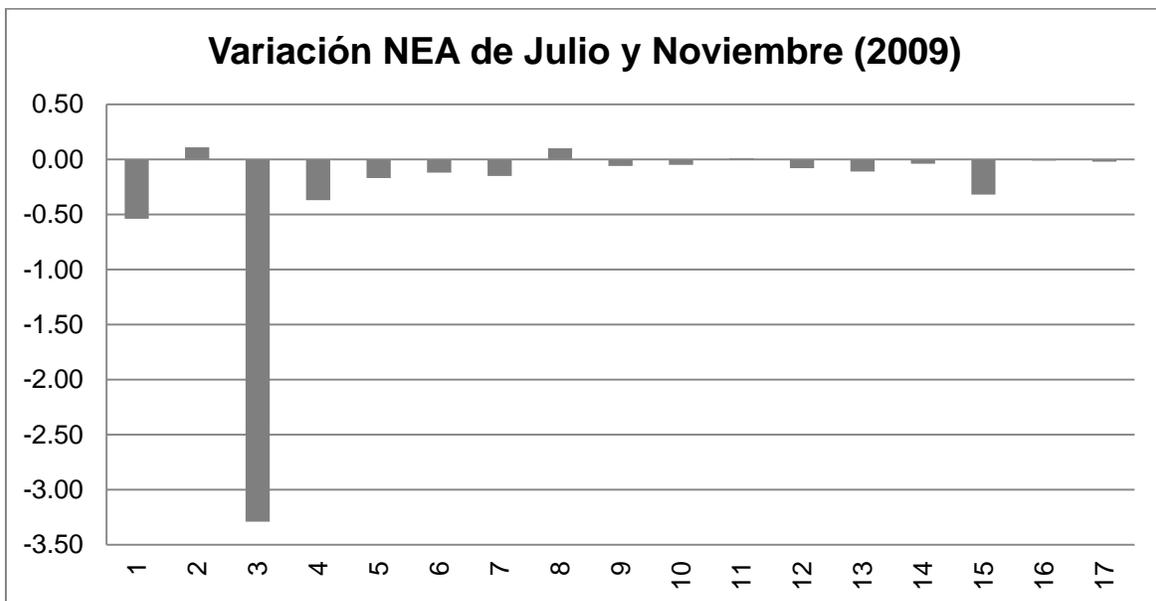


Gráfico 10: Variaciones de los NEAS en el área de estudio. Los pozos monitoreados son: (1) Mateare, (2) Filos de Cuajachillo, (3) El Paraíso, (4) El Rosario, (5) Santa Fe, (6) San Luis, (7) El Socorro, (8) La Fortuna, (9) Casa Blanca, (10) Los Laureles, (11) Las Tres Hermanas, (12) Las Brisas, (13) El Cuadro, (14) Los Cabros, (15) Los Brasiles, (16) Trinidad II, y (17) Ciudad Sandino I.

Con los resultados obtenidos se elaboraron dos mapas representando las mediciones de los NEAS durante Julio y Noviembre del año 2009 (Fig. 12). En los mapas se muestran isolíneas cada 10 m y presentan valores que van desde los 40 m.s.n.m., a orillas del lago de Managua y parte central del área de estudio, hasta 240 m.s.n.m. en dirección a la parte superior de Las Sierras de Mateare.

La isofreática correspondiente a 40 m.s.n.m., que abarca la península de Chiltepe, presenta una tendencia diferente en cada uno de los mapas. Durante las mediciones realizadas en Noviembre esta isolínea se expande en dirección a la ciudad de Mateare. Este comportamiento se debe al descenso en el NEAS, transcurrido el periodo entre julio y noviembre. La isolínea de 40 m.s.n.m. que abarca una pequeña zona al oeste de Ciudad Sandino m.s.n.m. puede deberse a la extracción que se está produciendo en esa área.

Los valores de NEAS desde los 50 m.s.n.m., en la parte central del área de estudio, hasta los 240 m.s.n.m., hacia escarpe de la Falla Mateare, se presentan más continuos en las dos mediciones. Esto se encuentra en concordancia con la topografía y el relieve que se tiene en esta zona.

El patrón principal del sistema de flujo del agua subterránea presenta la misma dirección en ambos mapas. Iniciando en la parte superior del escarpe de Falla Mateare y orientada hacia el lago de Managua. Sin embargo el comportamiento de las isofreáticas, en los alrededores de Ciudad Sandino y Los Brasiles, infiere que en esta zona el patrón de flujo principal se bifurca en varias direcciones. Es decir que a partir de este punto las aguas subterráneas pueden estar fluyendo en dirección ya sea hacia el norte, el este o el noroeste

La dirección del flujo del agua subterránea es más marcada en la parte superior del escarpe de Falla Mateare. Esto probablemente porque el relieve es más irregular en esa área.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

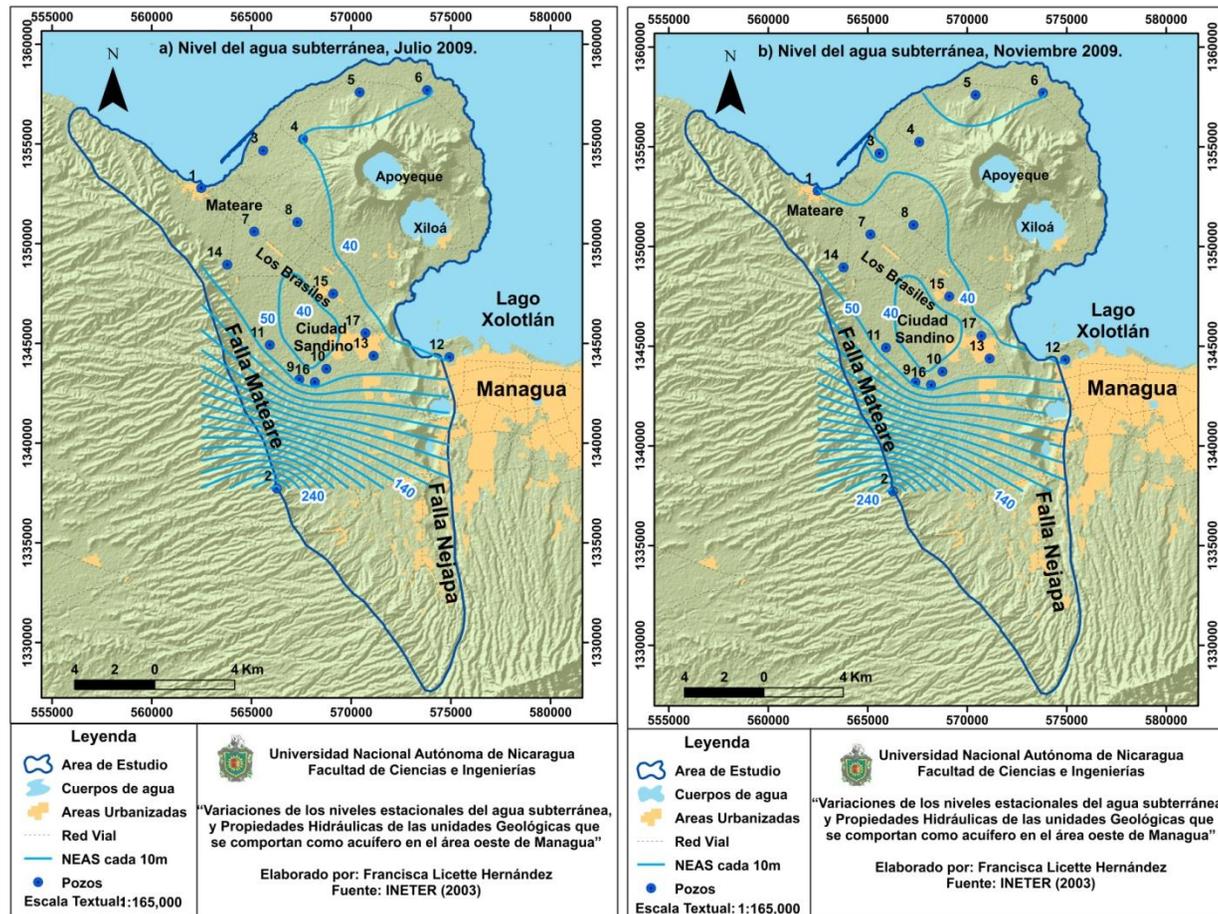


Figura 12: Mapa piezométrico del área de estudio se muestran las isolíneas, cada 10m de los NEAS medidos en el área de estudio tanto para julio como para noviembre del año 2009. Los números en color negro representan el ID de los pozos enumerados en la Tabla 4.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

5.2 Interpretación hidrogeológica

La interpretación hidrogeológica se realizó a partir de datos de pozos recopilados. Para esto se tomó en cuenta el ambiente volcánico de la ciudad de Managua y sus diferentes formaciones y unidades geológicas descritas en los capítulos 2.1. y 3. Esto dio como resultado la elaboración de columnas litológicas interpretadas para luego utilizar esta información en la creación de perfiles hidrogeológicos.

Los perfiles se elaboraron tomando en cuenta la ubicación y rasgos geológicos del área (fallas, cordilleras volcánicas y cuerpos de agua). Esto último con el interés de estudiar zonas que puedan actuar como límite hidrogeológico e incidir en el nivel del agua subterránea. Así mismo sirven para mostrar las unidades geológicas que conforman los acuíferos, así como para analizar el comportamiento, profundidad y espesor de los mismos.

Como resultado se presentan 5 perfiles hidrogeológicos, los cuales abarcan en la mayor parte del área de estudio. El trazo de los perfiles se realizó con base a la ubicación de 30 pozos con datos litológicos previamente interpretados. (Fig. 13).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

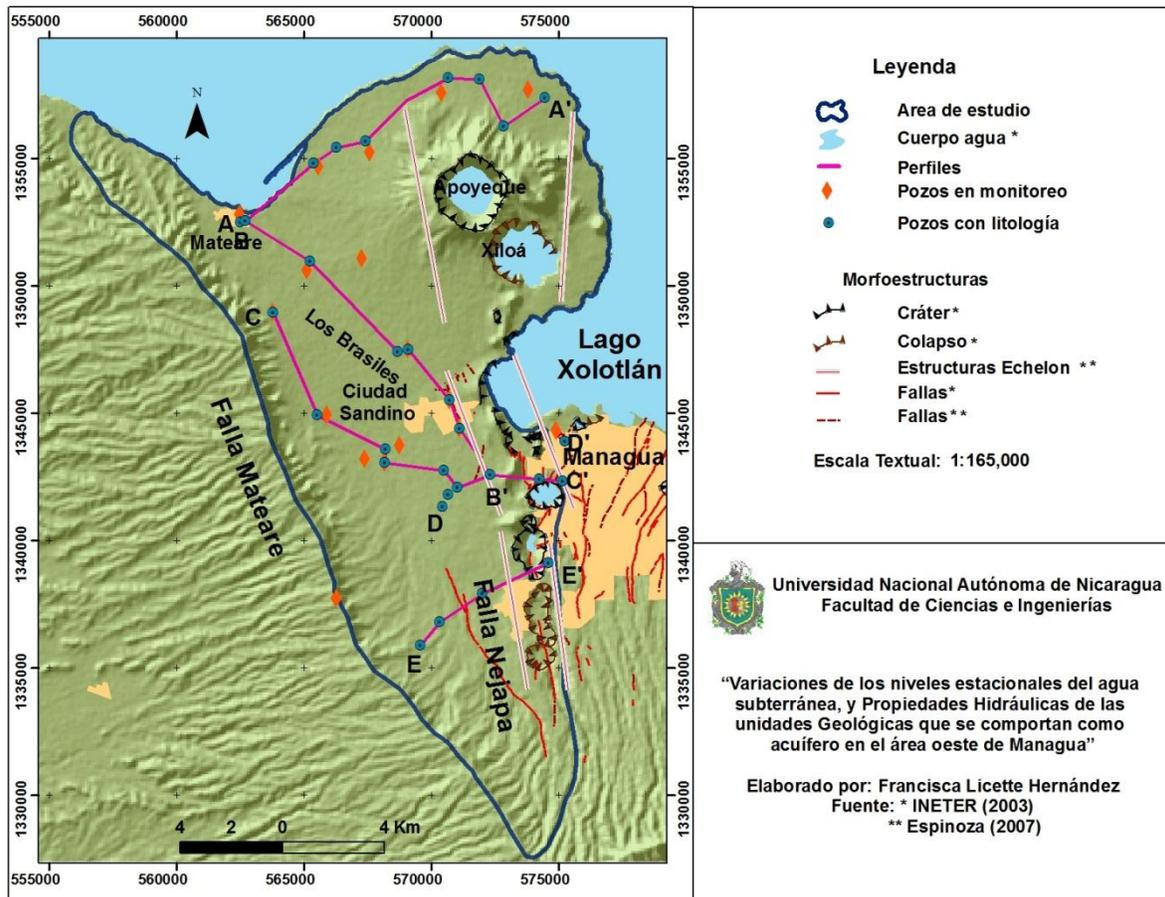


Figura 13: Mapa de localización de los perfiles hidrogeológicos. También se muestra la localización de los pozos utilizados para la creación de estos perfiles.

Perfil A – A': se localiza al norte del área de estudio bordeando las orillas del lago de Managua, tiene una dirección SO – NE, y una extensión de 16 km. Inicia en el pozo CH011 en el poblado de Mateare y finaliza en el pozo CH001 localizado en la península de Chiltepe (Fig. 13 y 14).

Las 10 columnas litológicas que integran este perfil están conformadas por Pómez, oleadas piroclásticas, tobas, escoria, suelos, flujos de ceniza y lavas. De acuerdo a lo anterior, este perfil destaca la presencia de un acuífero volcánico heterogéneo conformado por depósitos no consolidados, como pómez y escoria; y consolidados como las tobas.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

En este perfil el NEAS se encuentra localizado alrededor de los 40 msnm siendo el espesor saturado de aproximadamente 90 m. La dirección del flujo de agua subterránea se encuentra orientado hacia el norte,

Perfil B – B': Posee una dirección NO – SE de forma paralela al escarpe de Falla Mateare, con una extensión de 14 km. El perfil inicia en el pozo CH012 en el municipio de Mateare, atraviesa el poblado de Los Brasiles y finaliza en el pozo 006 localizado al sur de Bello Amanecer (Fig. 15). Este perfil intercepta al perfil A – A' en el pozo CH012.

En el perfil se presentan 7 columnas litológicas conformadas por depósitos de pómez, oleadas piroclásticas, escorias y suelo. Las unidades en las que se encuentra localizado el acuífero son toba, pómez y escoria.

El nivel del agua subterránea en este perfil es uniforme y se encuentra alrededor de 40 msnm , La dirección del flujo del agua subterránea en este perfil es al noreste y noroeste De acuerdo a las profundidades de las columnas expuestas en este perfil, se estima que el espesor del acuífero es de aproximadamente 120 m. Los pozos localizados en el extremo SE (5586, 5684 y 006) son los que presentan mayor profundidad de penetración del acuífero (Fig. 13 y 15).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

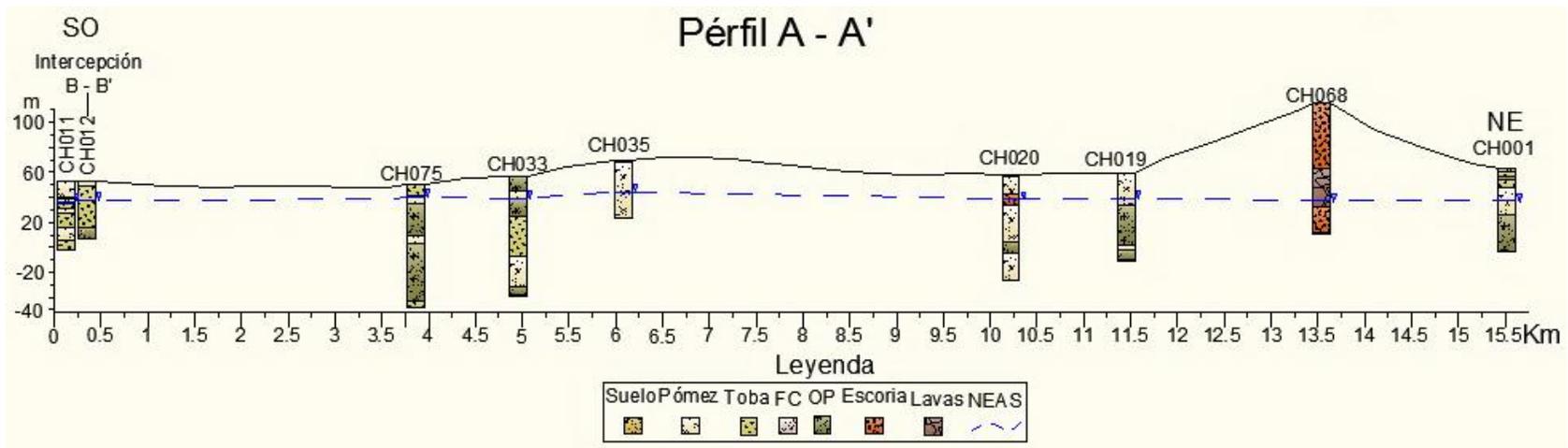


Figura 14: Perfil Hidrogeológico A – A' (Ver figura 13 para su localización). También se aprecian las columnas litológicas interpretadas para este perfil. (FC= Flujo de cenizas, OP= oleadas piroclásticas)

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

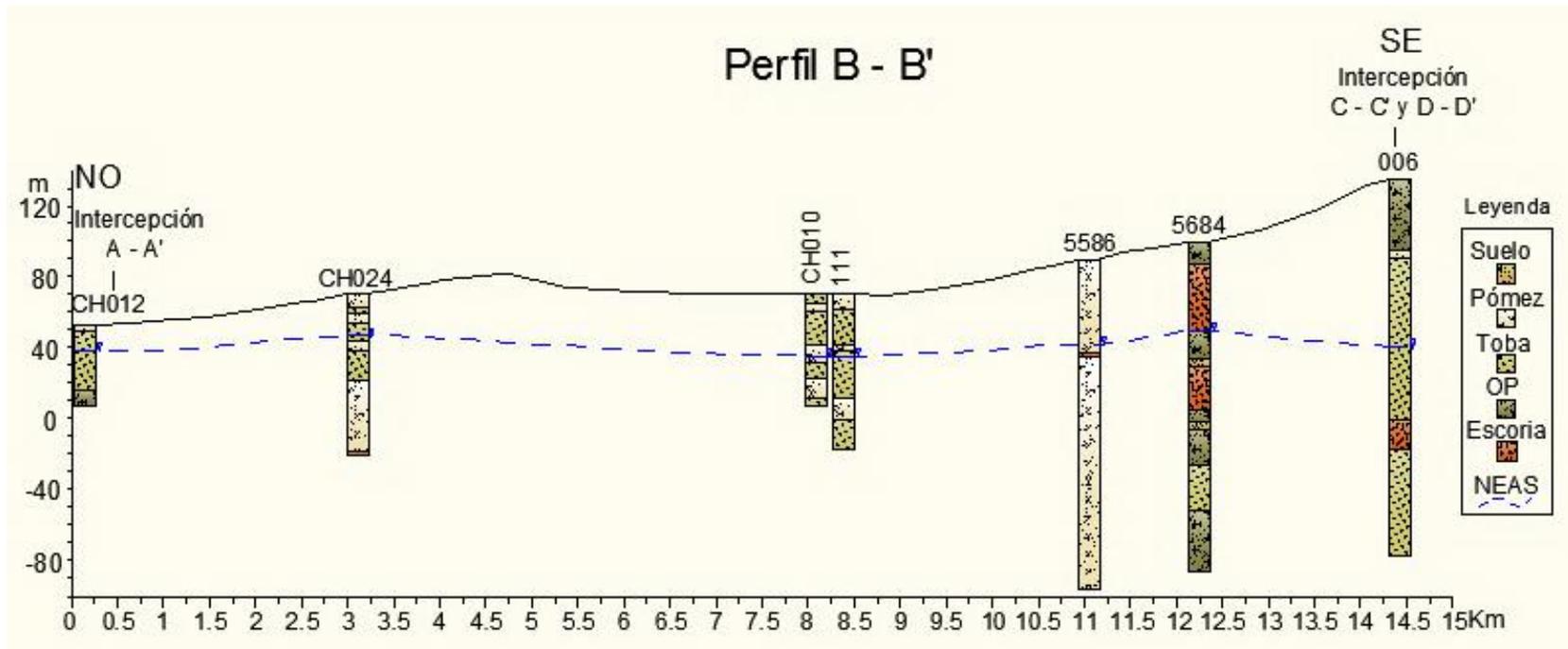


Figura 15: Perfil hidrogeológico B – B'. Se muestran las columnas litológicas interpretadas (OP= oleadas piroclásticas),

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Perfil C – C': Se localiza en la parte central del área de estudio, con dirección O – E y posee una extensión de 16 km. Inicia en el pozo CH022, ubicado en la comarca de La Palanca y finaliza en el pozo M013 localizado al NE de la Laguna de Asososca. Atraviesa el poblado de Bello Amanecer y la parte norte de la Falla Nejapa. Este perfil intercepta el perfil B – B' en el pozo 006 (Fig. 13 y 16).

Este perfil comprende 9 columnas estratigráficas. Los depósitos de estas columnas están constituidos de flujos de ceniza, pómez, oleadas piroclásticas, tobas, escorias, arenas, flujo de escombros, lavas e ignimbritas. El acuífero se presenta en flujos de ceniza, pómez, oleadas piroclásticas, tobas e ignimbritas.

El nivel del agua en este perfil presenta fluctuaciones entre los 60 y 95 msnm, que corresponde a la topografía del terreno (figura 12). El nivel más alto se obtiene en el pozo M169 localizado en el extremo oeste del perfil, lo cual está en concordancia con la elevación del terreno en este sitio. El valor del nivel en el pozo 5657, puede significar un dato atípico ya que no se correlaciona con los datos medidos en los pozos localizados en los alrededores del mismo. Así mismo el dato del pozo M013 no es representativo ya que fue obtenido de un registro medido en la década de los 60.

Perfil D – D': ubicado en la parte sur del borde este del área de estudio con dirección SO – NE. Este perfil posee una longitud de 5 km aproximadamente, iniciando al sur de Bello Amanecer en el pozo M028 y finalizando al oeste de Managua en el pozo 5984. El perfil intercepta al Perfil B – B' en el pozo 006 y al perfil C – C' en los pozos 102 y 006 (Fig. 17).

Este perfil consta de 5 columnas estratigráficas, las cuales están compuestas por depósitos de pómez, escoria, oleadas piroclásticas, tobas, flujo de ceniza, suelo, flujo de escombros e ignimbritas. Las unidades saturadas en este perfil son tobas, oleadas piroclásticas e ignimbritas.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

En este perfil el NEAS se presenta constante, manteniéndose entre los 40 m. El punto más alto es de 48.08 m.s.n.m. en el pozo M028 y el punto más bajo se observa en el pozo 006, con 40.06 m.s.n.m., de lo cual se obtiene una variación de 8.02 m. El espesor del acuífero de acuerdo a la profundidad de los pozos de este perfil es de 150 m.

Perfil E – E': Se localiza al sur del área de estudio, con dirección SO – NE y una longitud de 6 km. Inicia en el pozo 061 en la Comarca Cedro Galán y termina en el pozo 058 al SE de la laguna de Nejapa, pasando por dos fallas comprobadas, Falla Wheeloock (INETER, 2003) y Falla Nejapa (Espinoza, 2007). (Fig. 13 y 18).

El perfil presenta 4 columnas estratigráficas. Las columnas están conformadas por depósitos de pómez, oleadas piroclásticas, tobas, escorias, flujos de escombros e ignimbritas. Las unidades saturadas son las escorias e ignimbritas.

El NEAS en este perfil tiene un descenso considerable de 200 m aproximadamente a lo largo de toda su longitud. El cambio más abrupto se observa entre los pozos 6459 y 6327. Este descenso puede deberse a la influencia de la falla geológica que corta el perfil en este tramo. De acuerdo a INETER (2003), la falla en cuestión corresponde a la falla Wheeloock.

La dirección del agua subterránea en este perfil es hacia el noreste y el acuífero alcanza un espesor aproximado de 270 m.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

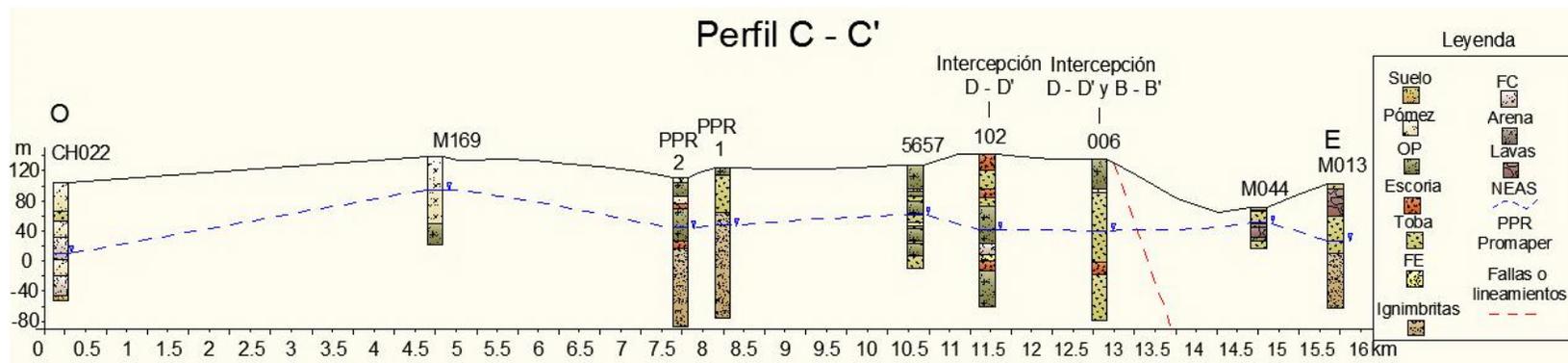


Figura 16: Perfil hidrogeológico C – C' de (ver figura 13 para su localización).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

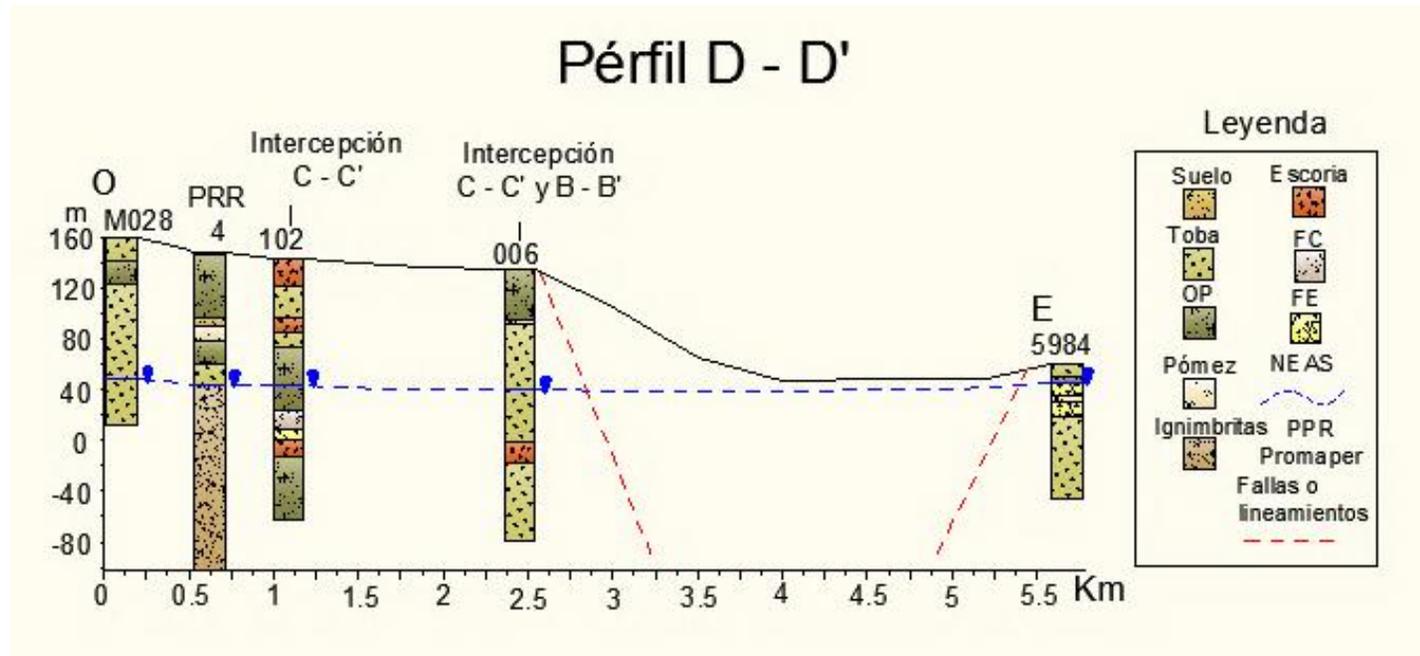


Figura 17: Perfil hidrogeológico D - D'.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

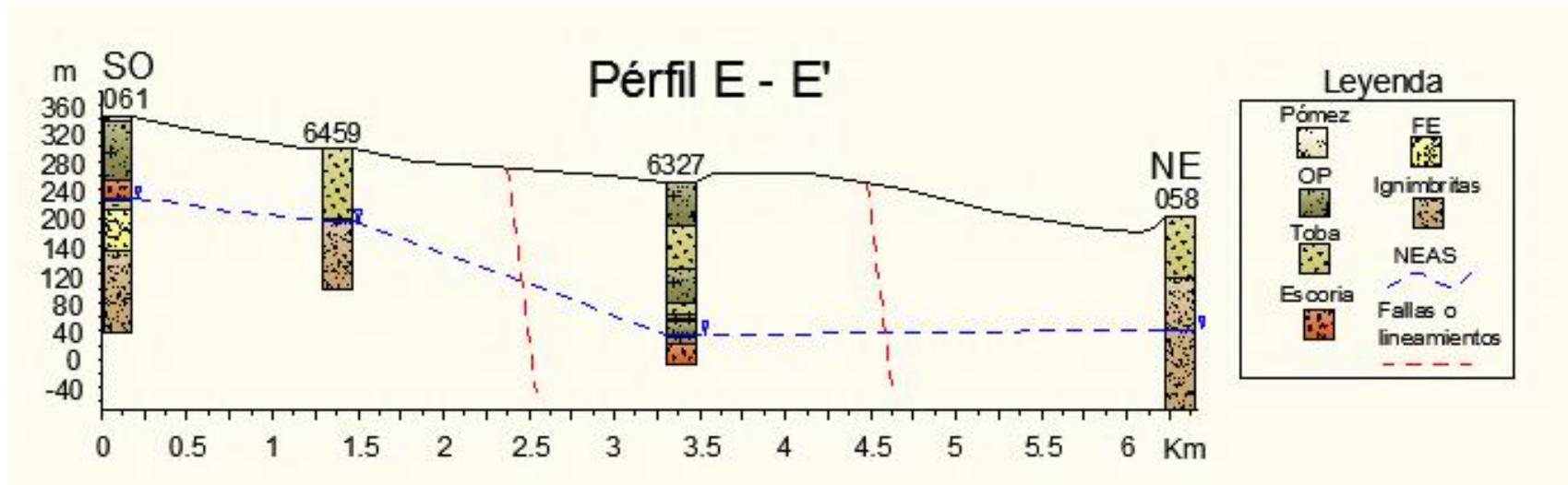


Figura 18: Perfil hidrogeológico E – E'.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

5.3 Características hidráulicas del área de estudio

Los parámetros hidráulicos se calcularon aplicando la metodología descrita en el capítulo 2.1.

Como resultado de este estudio se calcularon valores de transmisividad (T) y conductividad hidráulica (K) a partir del análisis de datos de pruebas de bombeo de 8 pozos localizados dentro del área de estudio. A continuación se presentan los gráficos obtenidos por medio de dicho análisis. Cada gráfico muestra la curva de aproximación resultante al aplicar uno de los métodos numéricos propuestos por Hantush – Jacob (1955), Theis (1935) o Dougherty – Babu (1984).

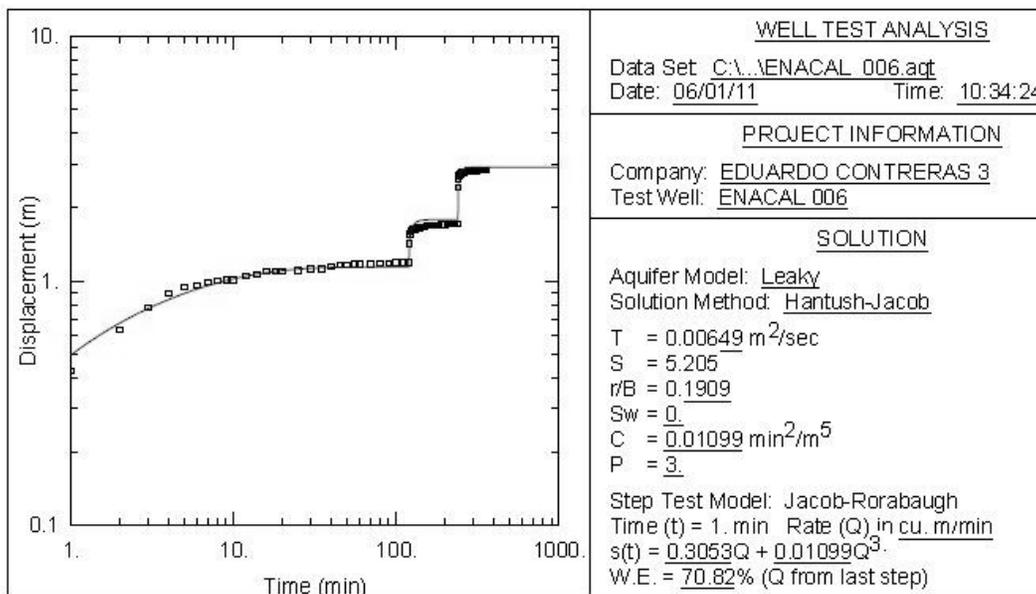


Gráfico 11: Resultados obtenidos en el pozo 006. Donde $T = 6.50E - 03$ m²/s, y una Conductividad de $K = 5.51E - 05$ m/s. S = coeficiente de almacenamiento, r/B = fuga de los parámetros, Sw = factor de daño adimensional, C = pérdida de coeficiente no lineal, P = exponente de pérdida no lineal.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

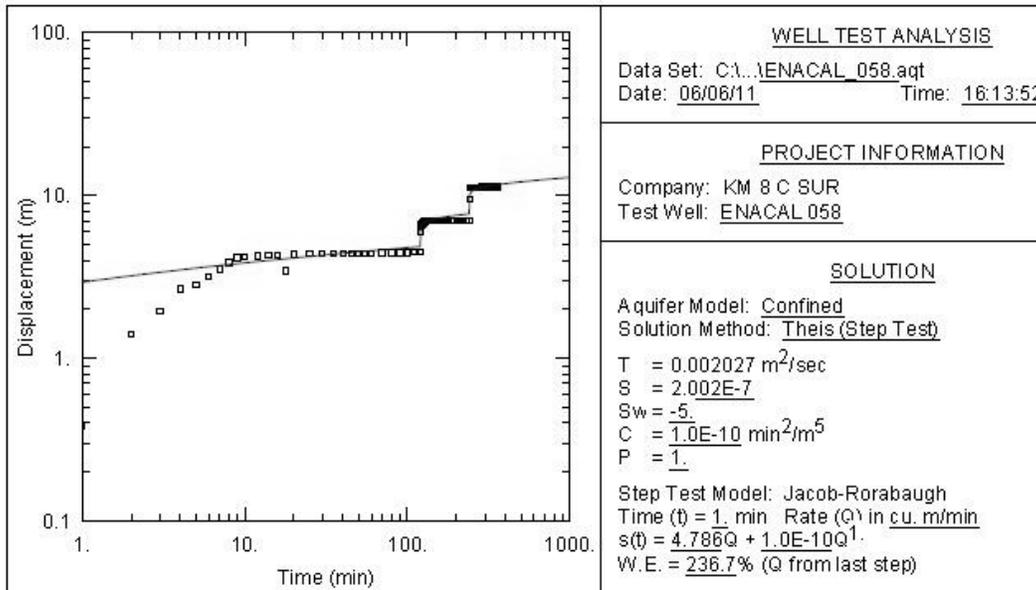


Gráfico 12: Resultados obtenidos en el pozo 058. Donde $T=2.00E - 03 \text{ m}^2/\text{s}$, y $K=1.79E - 05 \text{ m/s}$.

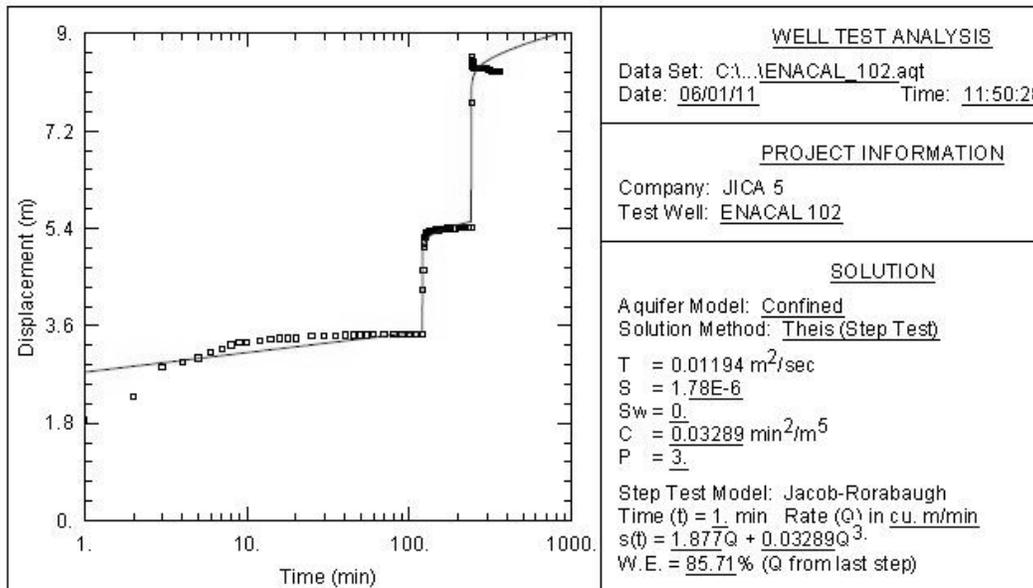


Gráfico 13: Resultados obtenidos en el pozo 102. Donde $T= 1.19E - 02 \text{ m}^2/\text{s}$, y $K=1.16E - 04 \text{ m/s}$.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

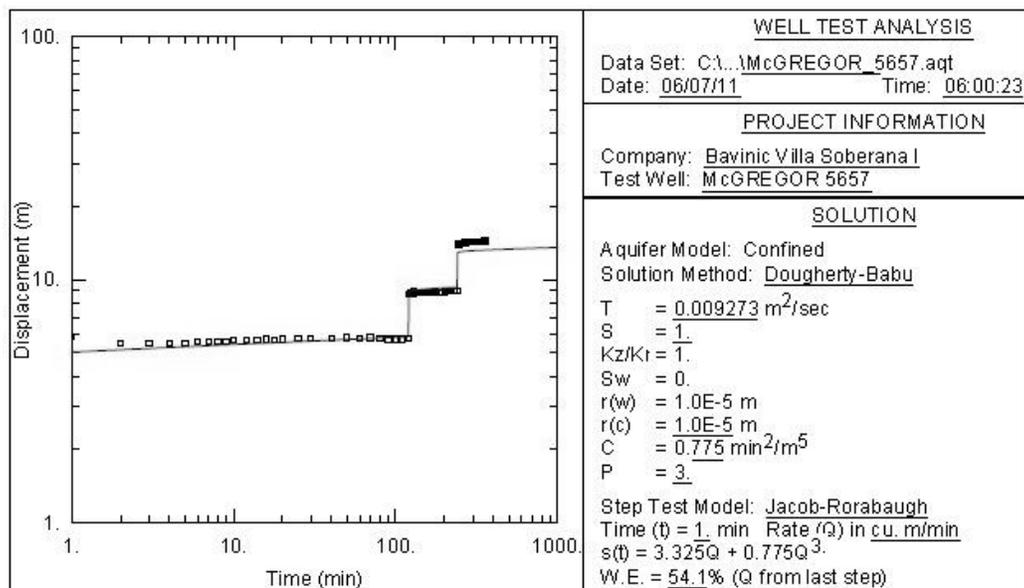


Gráfico 14: Resultados del pozo 5657. Donde $T = 9.27E - 03$ m²/s, y $K = 1.31E - 04$ m/s. Kz/Kr = relación de anisotropía y conductividad hidráulica, $r(w)$ = radio del pozo.

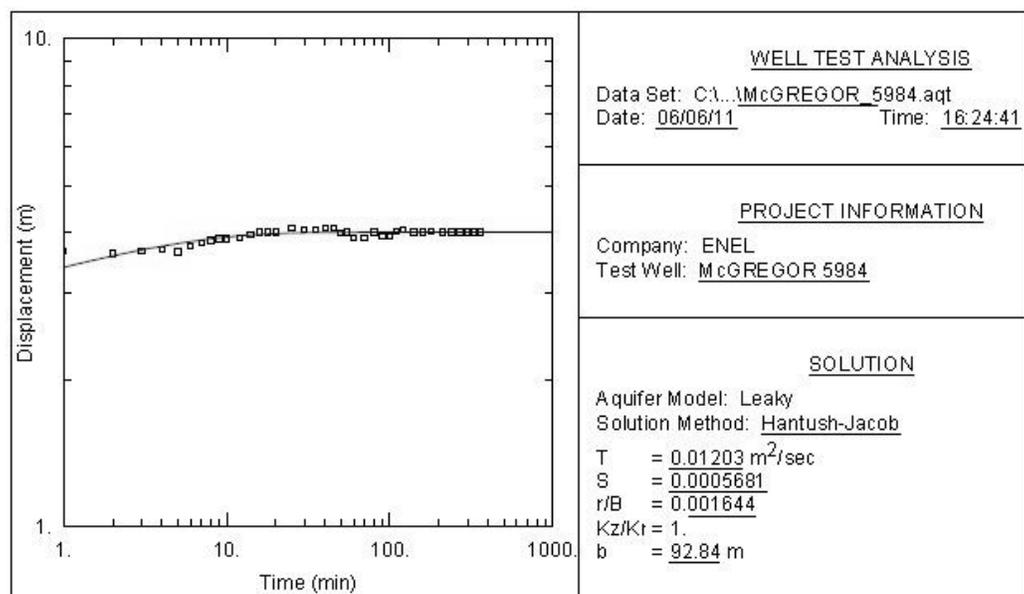


Gráfico 15: Resultados obtenidos en el pozo 5984. Donde $T = 1.20E - 02$ m²/s y $K = 1.29E - 04$ m/s, b = espesor saturado.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

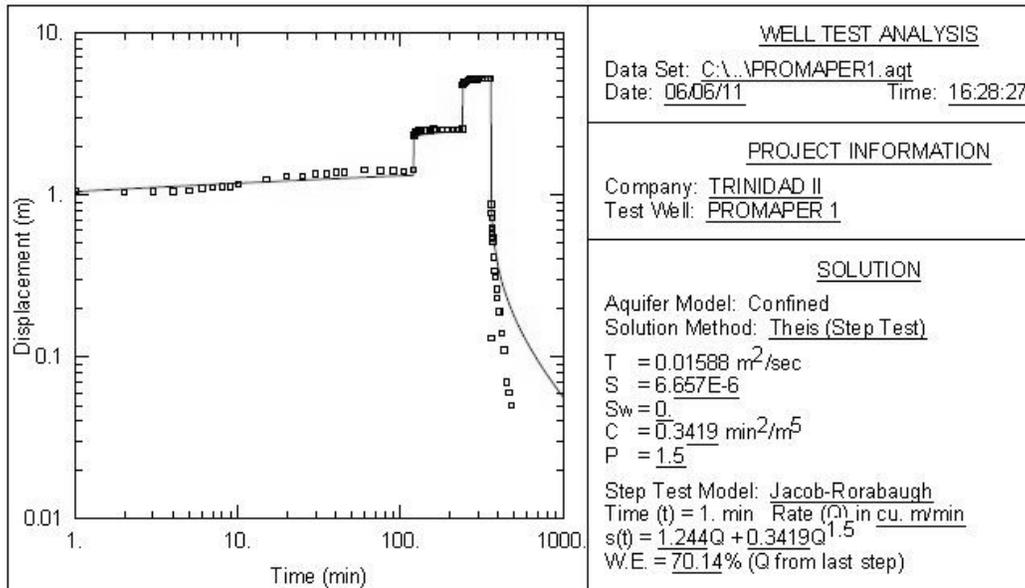


Gráfico 16: Resultados obtenidos en el pozo PROMAPER 1. Donde T= 1.59E – 02 m²/s, y K= 1.28E – 04 m/s.

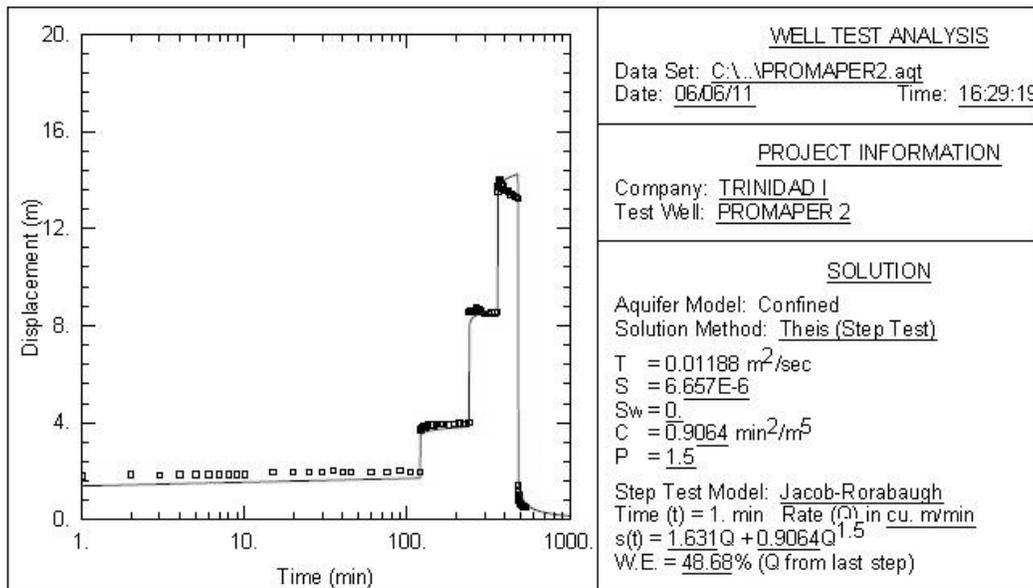


Gráfico 17: Resultados obtenidos en el pozo PROMAPER II. Donde T= 1.19E – 02 m²/s, y K=1.07E – 04 m/s.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

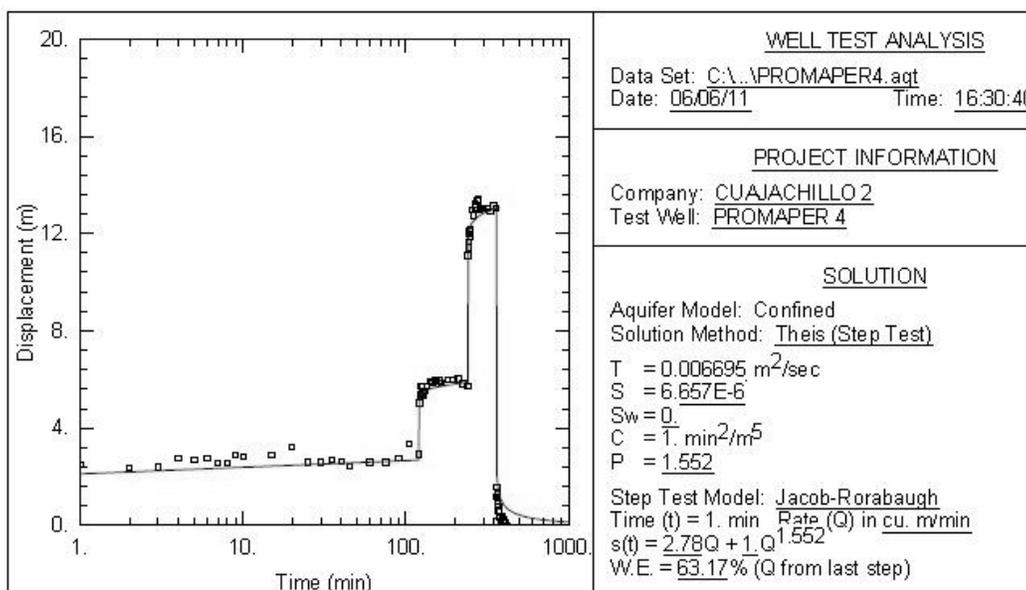


Gráfico 18: la transmisividad en el pozo PROMAPER IV. Donde $T = 6.70E - 03 \text{ m}^2/\text{s}$, y la Conductividad es de $K = 4.62E - 05 \text{ m/s}$.

Cabe mencionar que el pozo PROMAPER IV (Gráfico 18), no está dentro de los perfiles hidrogeológicos que se trazaron para la interpretación litológica presentadas en la sección anterior (Sección 5.2). Sin embargo, debido a su cercanía con el pozo 102 (Perfil C – C, Fig. 13 y 16), se le calcularon las propiedades hidráulicas igual que a los demás pozos, y se incluyó dentro de los resultados de este estudio.

De acuerdo a estos resultados los valores de transmisividad, en el área de estudio, oscilan entre $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1.6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Por lo tanto la conductividad hidráulica varía de $1.8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ a $1.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ considerando el espesor del acuífero en el rango de 70 – 145 m de espesor.

A continuación se muestra una tabla que condensa los resultados obtenidos. La tabla presenta los valores de transmisividad (T) y conductividad hidráulica (K) estimados a través del análisis de datos de pruebas de bombeo. Esta tabla también muestra información necesaria para realizar el cálculo de los parámetros

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

antes mencionados. Dicha información consiste en datos de coordenadas y diseño de pozo (profundidad total, localización de tramos de rejilla, nivel del agua subterránea, diámetro del pozo y caudal de extracción).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

Tabla 5: Valores estimados de Transmisividad (T) y Conductividad hidráulica (K) de la parte oeste del acuífero de Managua. El valor de abatimiento (s) está en dependencia del caudal de extracción. El espesor (b) es calculado tomando en cuenta la profundidad total del pozo y el nivel del agua subterránea antes de iniciada la prueba de bombeo. El valor de la conductividad (K) se obtiene a través de T/b.

ID	Coord X	Coord Y	Elev. (msn m)	Prof. Total (msnm)	Diámetro de tubería (plg)	Long. rejilla (m)	Nivel del agua (m)	Fecha	Caudal Q (gpm)			Desplazamiento (m)				T (m ² /s)	b	K (m/s)	
006	572290	1342360	135	213	14-8 3/4	91.46	94.84	26-03-96	397	590	894	1.2	1.7	2.8		6.5x10 ⁻³	118	5.5x10 ⁻⁵	
058	574614	1339127	203	274	14-83/4-6 5/8	88.41	161.58	23-08-95	162	248	370	4.5	7	11.3		2.0x10 ⁻³	112	1.8x10 ⁻⁵	
102	571000	1341700	143	204	12 3/4	53.96	100.66	27-03-96	373	560	815	3.5	5.4	8.3		1.2x10 ⁻²	103	1.2x10 ⁻⁴	
5657	570500	1342750	130	137	10 5/8	30.49	65.89	24-06-93	305	412	504	5.8	8.9	14.4		9.3x10 ⁻³	71	1.3x10 ⁻⁴	
5984	575250	1343900	60	106	12	44.21	13.87	19-10-98	736			4				1.2x10 ⁻²	93	1.3x10 ⁻⁴	
PROMAPER I	568190	1343060	120	199	14	98.78	75.13	04-12-05	181	317	634	1.3	4.8	5.2		1.6x10 ⁻²	124	1.3x10 ⁻⁴	
PROMAPER II	568190	1343575	111	178	14	44.51	67.24	21-10-05	158	317	634	951	2	4	8.5	13.2	1.2x10 ⁻²	111	1.1x10 ⁻⁴
PROMAPER IV	570656	1341808	149	250	14	60.98	105.45	26-07-66	158	317	634	2.9	5.7	13		6.7x10 ⁻³	145	4.6x10 ⁻⁵	

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

6 Discusión

6.1 Variación de los Niveles del Agua Subterránea

6.1.1 Monitoreo continuo

De acuerdo a los resultados presentados en el capítulo 5.1, los valores del nivel del agua subterránea mostraron ascensos durante la estación lluviosa. Cabe mencionar que dichos ascensos no son representativos ya que pudieron haber sido mayores en condiciones normales de precipitación. Esto se presume debido a que los resultados obtenidos durante el periodo de medición, podrían estar directamente influenciados por la disminución en el régimen de precipitación, producto del fenómeno climático “El Niño”.

En los registros de los sensores Diver, se observa que la mayor variación registrada en el nivel del agua subterránea fue en el pozo Las Brisas con 1.1 m. Esta variación podría deberse a que dicho pozo se encuentra localizado en la zona de descarga del acuífero (cerca del lago de Managua) en la que el gradiente hidráulico tiende a presentar mayor variación.

Los resultados de las mediciones de temperatura del agua muestran pequeñas variaciones en del rango 0.11 °C – 0.18 °C. Cabe mencionar que la temperatura media del agua (30 °C, valor promedio para todos los pozos medidos) se encuentra directamente relacionada con los valores de temperatura atmosférica (22 °C – 32.5 °C) de la zona de estudio. Sin embargo, es natural que la variación de la temperatura del agua sea menor que la variación de la temperatura del ambiente debido a la influencia del ambiente geológico y las propiedades físicas – químicas del agua.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

6.1.2 Monitoreo estacional

De acuerdo a los pozos medidos, el pozo Trinidad II presenta el menor descenso en las mediciones estacionales así como la menor variación de la presión según las mediciones continuas. Ambos resultados, tanto en las mediciones estacionales como en el monitoreo continuo indican que efectivamente el nivel del agua subterránea no varió mucho durante el 2009. Esta hipótesis también puede sustentarse en el resultado de los mapas piezométricos (Fig.12) presentados en la sección 5.1.2, en los cuales las isolíneas se comportan de manera similar.

Además la variación promedio del NEA (0.32 m, de acuerdo a los datos de la Tabla 4) de las mediciones realizadas durante julio y noviembre se encuentra dentro del rango obtenido por INETER (2009) (Tabla 2, sección 4.2.2). Cabe mencionar que el dato obtenido en el pozo El Paraíso puede deberse a la localización del punto de medición, el cual resulta ser otro ejemplo de la relación que existe entre las zonas de descarga y el gradiente hidráulico.

Al analizar y comparar resultados del monitoreo, tanto continuo como estacional, junto con resultados de los perfiles hidrogeológicos presentados en el capítulo 5 (Gráficos 2 – 10, Tabla 4 y Figuras 12 - 18) es posible delimitar un rango en el que se encuentra el NEAS en el área de estudio. Dicho rango se encuentra entre los 40 msnm para las zonas planas y próximas al lago de Managua y más de 240 msnm para las zonas elevadas localizadas hacia el sur, sureste y suroeste del área de estudio.

6.2 Interpretación Hidrogeológica

De acuerdo al análisis de los perfiles hidrogeológicos presentados en la sección 5.3, y de los resultados de la interpretación litológica, se sugiere que la litología en el área de estudios está constituida por depósitos no consolidados de grano medio a grueso dentro de los que se destacan depósitos de caída, oleadas piroclásticas

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

y tobas. De lo anterior se puede entender que el acuífero está controlado por las condiciones estratigráficas del área de estudio. Lo cual permite sugerir que el acuífero es no confinado a excepción de los sitios (parte sur del área de estudio) donde algunos depósitos de lava podrían estar actuando como estratos confinantes. Esto se sugiere debido a la actividad volcánica cercana al área de estudio.

Cabe mencionar que la interpretación hidrogeológica del área de estudio está basada principalmente en los registros litológicos de pozos, proporcionados por ENACAL, INETER y McGregor. Estos registros fueron levantados entre los años setenta y noventa, por lo cual no se pudieron hacer descripciones o corroboraciones de las muestras litológicas tomadas por ENACAL, INETER y McGregor.

La interpretación y los resultados de los datos litológicos de los pozos incluidos en los perfiles hidrogeológicos que cortan la falla Nejapa no muestran influencia estructural en el nivel del agua subterránea. Sin embargo estructuras paralelas a esta y de menor dimensión, sí muestran influencia en el nivel del agua subterránea de algunos pozos situados en la parte sur del área de estudio. Esta influencia estructural es mostrada en el perfil E – E´ a través de los descensos del nivel del agua en los pozos.

La estructura en mención ha sido caracterizada como la fractura Wheelock (Woodward-Clyde, 1975) y después denominada como sistema de falla Wheelock (INETER, 2003). Si bien, a la actualidad no se ha comprado si dicha estructura es falla o fractura, es evidente de que la hipótesis anterior resulta una posible explicación del considerable descenso en el NEAS en esa zona. La incidencia de esta estructura concuerda con el análisis de Rivera (2010), quien también identificó el mismo comportamiento en unos de sus perfiles hidrogeológicos.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

6.3 Propiedades hidráulicas

Los resultados de los parámetros hidráulicos (Transmisividad T y Conductividad hidráulica K) presentados en la sección 5.3 son comparables con los obtenidos por estudios anteriores tales como JICA & INAA (1993), MARENA y KTH (2000a), Murillo (2010), entre otros (ver sección 4.2.3). De acuerdo a estos estudios los valores de conductividad hidráulica varían en el intervalo 1×10^{-7} y 1×10^{-3} m/s.

La conductividad hidráulica representa el parámetro potencial utilizado para caracterizar las propiedades hidráulicas en el área de estudio. A continuación se presenta un resumen de estos resultados (Tabla 6) con el propósito de analizar una posible correlación con las unidades geológicas que conforman el acuífero (Fig. 13 – 18, Sección 5.2).

Tabla 6: Relación de las conductividades hidráulicas calculadas con las unidades geológicas que conforman el acuífero en el área de estudio.

ID	Unidades	Perfil	K (m/s)	Clasificación
006	Toba	Perfil B, C, D	5.5×10^{-5}	Baja
058	Ignimbrítas	Perfil E	1.8×10^{-5}	Baja
102	Oleadas Piroclásticas	Perfil D, C	1.2×10^{-4}	Moderada
5657	Toba	Perfil C	1.3×10^{-4}	Moderada
5984	Oleadas Piroclásticas	Perfil D	1.3×10^{-4}	Moderada
PROMAPER I	Ignimbrítas	Perfil C	1.3×10^{-4}	Moderada
PROMAPER II	Oleadas Piroclásticas	Perfil C	1.6×10^{-4}	Moderada
PROMAPER IV*	Oleadas Piroclásticas		4.6×10^{-5}	Baja

*Para realizar la interpretación hidrogeológica en este pozo se utilizó la información del pozo más cercano-102.

De acuerdo a la tabla anterior la conductividad hidráulica varía de 1.8×10^{-5} a 1.6×10^{-4} m/s y podría estar definida por las unidades acuíferas constituidas por depósitos de oleadas piroclásticas, tobas e ignimbrítas pertenecientes a la Formación Las Sierras. Se debe tomar en cuenta que el grado de consolidación puede estar influyendo en el valor de conductividad hidráulica que podría presentar cierta unidad geológica que este constituyendo el acuífero.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

De acuerdo a las mediciones realizadas con los sensores Diver, el nivel estático del agua subterránea en la zona central del área de estudio se encuentra alrededor de los 45 msnm. Asimismo la temperatura del agua subterránea, para todos los pozos monitoreados, presenta un valor promedio de 30 °C.

Los variaciones obtenidas con el monitoreo continuo muestran leves ascensos en el nivel del agua subterránea no obstante estos ascensos han sido influenciados por el fenómeno del Niño. Por lo tanto, en condiciones normales de precipitación, las variaciones en los ascensos de los niveles freáticos serían aun mayores.

Basándose en las mediciones estacionales realizadas entre Julio y Noviembre del 2009, el nivel estático del agua subterránea descendió en la mayoría de los pozos monitoreados y ascendió levemente en algunos de ellos. Se encontró que el nivel estático del agua subterránea presento el mayor ascenso (0.11 m) en el pozo de Filos de Cuajachillo. Por otro lado el pozo El Paraíso fue el que presento el máximo descenso (3.29 m) del nivel estático del agua subterránea.

Las máximas variaciones obtenidas tanto en el monitoreo continuo como en el estacional están siendo influenciadas por el gradiente hidráulico. Debido a que estas variaciones se obtuvieron en las cercanías de la zona de descarga.

Las curvas de isocotas de ambas jornadas de campo muestran que el nivel estático del agua subterránea se localiza entre los 40 msnm, en las zonas planas y cercanas al lago de Managua, y los 240 msnm para las zonas altas localizadas hacia el suroeste del área de estudio.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

El nivel estático del agua subterránea en el área de estudio no es controlado por fallamiento, a excepción de la parte sur, la cual se considera está siendo afectada por la Falla Wheelock debido a que se observó un descenso considerable del nivel estático del agua subterránea en dicha zona.

Se interpretaron 30 columnas litológicas en el área de estudio, de las cuales se obtuvieron 10 unidades litológicas, pómez, escoria, oleadas piroclásticas, flujos de ceniza, arenas, tobas, suelos, flujos de escombros, lavas e ignimbrítas. Las principales unidades acuíferas son oleadas piroclásticas, tobas e ignimbrítas. Por otro lado en la península de Chiltepe las unidades acuíferas se encuentran constituidas principalmente por depósitos de caída (pómez y escorias).

Las transmisividades que se presentan en el área de estudio oscilan entre $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1.59 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Por lo tanto los valores de conductividad hidráulica varían de $1.8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ a $1.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ dependiendo del espesor del acuífero.

Los valores de conductividad hidráulica calculados en este estudio están relacionados a depósitos de oleadas piroclásticas, tobas e ignimbritas pertenecientes a la Formación Las Sierras.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

7.2 Recomendaciones

Establecer una red de monitoreo, con sensores de alta precisión, que registre a largo plazo los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea, con el propósito de obtener información detallada de las variaciones de dichos niveles en el acuífero de Managua. Dicha información es indispensable para la realización de estudios hidrogeológicos más completos y a la vez necesarios, tales como evaluación de un balance hídrico de las fuentes de aguas subterráneas existentes.

Realizar perforaciones de pozos de carácter científico, con el fin de obtener descripciones más adecuadas de las muestras de las columnas litológicas. Esto permitiría una mejor identificación de la litología, caracterización hidrogeológica y localización de las unidades acuíferas en un área determinada.

Realizar estudios geofísicos y geológicos del acuífero, para obtener una base de datos que apoye los diferentes estudios hidrogeológicos que se realicen en un futuro en los cuales se puede incluir la delimitación de las fronteras o bordes hidrogeológicos de los acuíferos.

Crear una base de datos digital que incorpore la información recopilada en años anteriores así como la información generada durante los estudios recientes y los futuros. Dicha base de datos puede incluir información referente a: mediciones de nivel estático, columnas litológicas, pruebas de bombeo, datos hidroquímicos, diseño de pozos, etc.

Es necesario realizar pruebas de bombeo en los alrededores de la Península de Chiltepe y las zonas elevadas hacia el suroeste del área de estudio. Con el propósito de obtener información a lo largo de toda el área y de esa manera adquirir un mejor control de las propiedades hidráulicas del acuífero.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

8 Bibliografía

- Ashtech – Corporation, 1998. Locus System Operation Manual. California: 136.
- Avellán, D.R., 2009. Tefroestratigrafía de la parte occidental de Managua, Nicaragua: evolución de las estructuras volcánicas de Ticomo, Nejapa y Asososca.
- Bice, D. C., 1985. Quaternary volcanic stratigraphy of Managua, Nicaragua: Correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposits. *Geological Society of América Bulletin*, 96, 553-566.
- Brown, R. E., Ward, P. L. and Plafker, G., 1973. Geologic and seismologic aspects of the Managua, Nicaragua, earthquake of December 23, 1972. U.S. Geol. Surv.
- Catastro e Inventario de Recursos Naturales, 1972. Evaluación de recursos de agua subterránea, área Los Brasiles – Chiltepe. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Hidrogeología.
- Cowan, H., Machete, M., Amador, J., Morgan, K., Dart, R., and Bradley, L., 2000. Map and Database of Quaternary Faults in the Vicinity of Managua, Nicaragua. U.S. Geological Survey.
- Cowan, H., Prentice, C., Pantosti, D., Martini, P., Strauch, W., and workshop Participants, 2002. Late Holocene Earthquakes on the Aeropuerto Fault, Nicaragua. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 92, No. 5, pp. 1694 – 1707, June 2002.
- Dengo, G., 1969. Problems of tectonic relations between Central America and the Caribbean, *Trans, Gulf Coast Assoc. geol. Soc.*, 29, 311-320.
- Dengo, G., 1985. Tectonic setting for the pacific margin from southern Mexico to northwestern Colombia. - In: *Ocean basins and margins*. Vol. 7a, Nairn, H.E.M., Stehli, F.G., Uyeda S., Plenum press, New York.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

- Dougherty, D.E and Babu, D.K., 1984. Flow to a partially penetrating well in a double-porosity reservoir, *Water Resources Research*, vol. 20, no. 8, pp. 1116-1122.
- Elming, S.Å., 1985. A paleomagnetic investigation and K – Ar determination in volcanic rocks in Nicaragua. INMINE/SAREC/ SGAB, 46pp.F.
- Espinoza, F. J., 2007. Neotectónica de la Falla Nejapa, porción oeste del Graben de Managua-Nicaragua, [MSc. thesis]: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 83 p.
- Girard, G., and van Wyk de Vries, B., 2005. The Managua Graben and Las Sierras – Masaya volcanic complex (Nicaragua); pull-apart localization by an intrusive complex: results from analogue modeling. Université Blaise – Pascal – CNRS, UMR 6524, rue Kessler, 63038 Clermont – Ferrand, France.
- Hantush, M. S., and Jacob, C. E., 1955. “Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer.” *Transactions, American Geophysical Union* 36: 95-100.
- Hecht, G., 1989. Estudio sobre la calidad química de las aguas del acuífero Las Sierras. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- Hernandez, Z., Atakan, K., and Havskov, J., 1994. Seismicity and tectonics near Managua, Nicaragua, Report 1–16, Reduction of Natural Disasters in Central America, Establishment of Local and Regional Data Centers, CEPREDENAC/Institute of Solid Earth Physics, Bergen, Norway.
- Hradecký, P., Havličeck, P., Navarro, M., Novák, Z., Staník, E., Šebesta, J., 1997 – Estudio para el Reconocimiento de la Amenaza Geológica en el Área de Managua, Nicaragua. Praha – Managua, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) and Czech Geological Survey (CGS) 105.
- Hradecký, P., 2001. Estudio Geológico y Reconocimiento de las Amenazas Geológicas en el Volcán Apoyeque, Nicaragua. Servicio Geológico Checo, INETER.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

- INEC, 2005. Dirección de Estadísticas y Sociodemográficas. "VIII Censo de Población y IV de Vivienda -POBLACIÓN Municipios." VIII Censo de Población y IV de Vivienda - POBLACIÓN Municipios IV. INEC. 546. Instituto Nicaragüense de Encuestas y Censos. Managua.
- INETER, 2003. GIS Georisk database. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Managua.
- INETER, 2009. “Reporte Anual de Hidrogeología”. Managua-Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Managua.
- INETER, 2010. Base de datos del Departamento de Meteorología. Managua-Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Managua.
- INIFOM, (año desconocido). Ficha Técnica Municipal de Ciudad Sandino, INIFOM. 38. Managua. Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal. Managua.
- JICA & INAA. 1993. Estudio sobre el proyecto de abastecimiento de agua en Managua. Kokusai kogyo Co. Ltd., Tokio. Japanese International Cooperation Agency y Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado.
- Krásný, J., y López, A., 1988. Mas agua para Managua... ¿Pero de donde?- Consideraciones sobre la estrategia del futuro abastecimiento de la capital nicaragüense dentro del contexto regional. Departamento de Hidrogeología - INETER, Managua.
- Krásný, J., y Hecht, G., 1998. Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua.
- Kuang, J., 1971. Estudio geológico del Pacífico de Nicaragua: Nicaragua, Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Informe Geológico, No. 3, 55 p.
- Kutterolf, S., Freundt, A., Pérez, W., Wehrmann, H., Schmincke, H.-U., 2007. Late Pleistocene to Holocene temporal succession and magnitudes of highly-explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua. J. Volcanol. Geotherm. Res. 163, 55-82.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

- MARENA and KTH, 2000a. Vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero de Managua Sustainable Use of Water Resources SUWaR. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Kungliga Tekniska Högskolan (Royal Institute of Technology). Managua.
- MARENA and KTH, 2000b. Estimación del peligro potencial de Contaminación en el acuífero de Managua. SUWaR Sustainable Use of Water Resources Managua. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Kungliga Tekniska Högskolan (Royal Institute of Technology). Managua.
- MARENA and KTH, 2000c. Valor relativo de la protección del agua subterránea en el acuífero de Managua. SUWaR Sustainable Use of Water Resources Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Kungliga Tekniska Högskolan (Royal Institute of Technology). Managua.
- McBirney, A., & Williams, H. 1965. Volcanic History of Nicaragua. University of California.
- Montgomery-Santos & Heilemann-Chan Consultores., 1979. Informe sobre el estudio hidrogeológico del área de las lagunas de Nejapa, Asososca y Acahualinca.
- Murillo, G., (2010). A conceptual model of the groundwater flow path and hydraulic properties of the aquifer in western Managua, Nicaragua. Licentiate thesis ISSN 978-91-976848-5-9, Lund University, Sweden.
- Organización Meteorológica Mundial, 2008. “El niño/La niña hoy.” Tomado en Enero 2012 de http://www.imarpe.gob.pe/enso/Pronosticos/Nov%202006/WMO-07nov08_Esp.pdf.
- Pardo, N., 2008, Estratigrafía e historia eruptiva del maar Asososca, Nicaragua [MSc. thesis]: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 181 p.
- Parello, A., Aiuppa, H., Calderon, F., Calvi, D., Cellura, V., Martínez, M., Militello, K., Vammen, D., Vinti. 2008. Geochemical characterization of surface

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

waters and groundwater resources in the Managua area (Nicaragua, Central America)

- Parsons Corporation, 1973. The Geology of Western Nicaragua (Reporte Técnico Final IV).
- Perez, W., and Freundt, A., 2006. The youngest highly explosive basaltic eruptions from Masaya Caldera (Nicaragua): Stratigraphy and hazard assessment. In: W.I. Rose, G.J.S. Bluth, M.J. Evert, L.C. Patino and J.W. Vallance (Editors), Volcanic hazards in Central America. Geol. Soc. Am. Spec. Publ., pp. 189-207.
- PROMAPER, 2004. Implantación de sondeos de explotación de aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable en Ciudad Sandino. Diseño de los pozos 1,2 y 5.
- Strahler, A. N., 2005. Geografía física. Barcelona: Ediciones Omega, 2005, tercera edición, séptima reimpresión
- Sussman, D., 1985. Apoyo Caldera, Nicaragua: A major quaternary silicic eruptive center. J. Volcanol. Geotherm. Res. no. 24, p. 249-282.
- Theis, C. V., 1935. “The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.” Transactions, American Geophysical Union **16**: 519-524.
- Van Wyk de Vries, B., 1993. Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems. *Unpublished Ph.D. thesis*, Department of Earth Sciences, The Open University, U.K., 328 pp.
- Woodward – Clyde Consultants, 1975. Investigation of active faulting in Managua, Nicaragua, and vicinity, Managua.

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

9 Anexos

006									
t (min)	z (m)								
09:45:00	0	10:20:00	3.67	11:52:00	5.31	13:05:00	5.58	14:03:00	9.09
09:46:00	1.41	10:25:00	3.74	11:53:00	5.31	13:15:00	5.61	14:05:00	9.09
09:47:00	2.07	10:30:00	3.8	11:54:00	5.31	13:25:00	5.61	14:10:00	9.15
09:48:00	2.56	10:35:00	3.8	11:55:00	5.31	13:35:00	5.61	14:15:00	9.15
09:49:00	2.92	10:40:00	3.84	11:57:00	5.38	13:45:00	5.61	14:20:00	9.15
09:50:00	3.08	10:45:00	3.84	11:59:00	5.38	13:46:00	7.9	14:25:00	9.22
09:51:00	3.15	10:55:00	3.84	12:01:00	5.41	13:47:00	8.53	14:30:00	9.22
09:52:00	3.25	11:05:00	3.87	12:03:00	5.41	13:48:00	8.82	14:35:00	9.22
09:53:00	3.28	11:15:00	3.87	12:05:00	5.41	13:49:00	8.82	14:40:00	9.25
09:54:00	3.31	11:25:00	3.9	12:10:00	5.44	13:50:00	8.92	14:45:00	9.25
09:55:00	3.31	11:35:00	3.9	12:15:00	5.44	13:51:00	8.92	14:55:00	9.25
09:57:00	3.44	11:45:00	3.9	12:20:00	5.51	13:52:00	8.92	15:05:00	9.28
09:59:00	3.48	11:46:00	4.66	12:25:00	5.51	13:53:00	8.99	15:15:00	9.28
10:01:00	3.58	11:47:00	5.08	12:30:00	5.51	13:54:00	8.99	15:25:00	9.32
10:03:00	3.58	11:48:00	5.25	12:35:00	5.54	13:55:00	8.99	15:35:00	9.32
10:05:00	3.58	11:49:00	5.28	12:40:00	5.54	13:57:00	9.05	15:45:00	9.32
10:10:00	3.61	11:50:00	5.28	12:45:00	5.54	13:59:00	9.05		
10:15:00	3.67	11:51:00	5.28	12:55:00	5.58	14:01:00	9.09		

Pozo: ENACAL 006. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

058									
t (min)	z (m)								
10:30:00	0	11:30:00	14.51	13:00:00	23.11	14:42:00	36.82	16:35:00	52.22
10:31:00	1.26	11:40:00	14.55	13:05:00	23.11	14:44:00	36.88	16:36:00	52.09
10:32:00	4.61	11:50:00	14.55	13:10:00	23.11	14:46:00	36.88	16:37:00	51.99
10:33:00	6.41	12:00:00	14.58	13:15:00	23.11	14:48:00	36.92	16:38:00	51.86
10:34:00	8.74	12:10:00	14.58	13:20:00	23.11	14:50:00	36.92	16:39:00	51.69
10:35:00	9.27	12:20:00	14.65	13:25:00	23.11	14:55:00	36.98	16:40:00	51.53
10:36:00	10.35	12:30:00	14.68	13:30:00	23.11	15:00:00	36.95	16:42:00	51.36
10:37:00	11.6	12:31:00	19.6	13:40:00	23.11	15:05:00	36.98	16:44:00	51
10:38:00	12.74	12:32:00	21.66	13:50:00	23.11	15:10:00	36.98	16:46:00	50.68
10:39:00	13.66	12:33:00	21.93	14:00:00	23.11	15:15:00	37.05	16:48:00	50.38
10:40:00	13.76	12:34:00	22.12	14:10:00	23.11	15:20:00	37.15	16:50:00	50.12
10:42:00	13.92	12:35:00	22.19	14:20:00	23.11	15:25:00	37.15	16:55:00	49.89
10:44:00	14.09	12:36:00	22.45	14:30:00	23.11	15:30:00	37.15	17:00:00	49.53
10:46:00	14.19	12:37:00	22.52	14:31:00	31.18	15:40:00	37.21	17:05:00	49.33
10:48:00	11.3	12:38:00	22.68	14:32:00	36.42	15:50:00	37.21	17:10:00	49.04
10:50:00	14.25	12:39:00	22.75	14:33:00	36.46	16:00:00	37.21	17:15:00	48.87
10:55:00	14.35	12:40:00	22.85	14:34:00	36.49	16:10:00	37.21	17:20:00	48.58
11:00:00	14.42	12:42:00	22.91	14:35:00	36.56	16:20:00	37.21	17:25:00	48.25
11:05:00	14.42	12:44:00	23.08	14:36:00	36.62	16:30:00	37.21	17:30:00	47.95
11:10:00	14.48	12:46:00	23.08	14:37:00	36.62	16:31:00	52.71	17:40:00	47.59
11:15:00	14.48	12:48:00	23.08	14:38:00	36.69	16:32:00	52.51	17:50:00	47.3
11:20:00	14.51	12:50:00	23.08	14:39:00	36.69	16:33:00	52.41	18:00:00	47
11:25:00	14.51	12:55:00	23.08	14:40:00	36.82	16:34:00	52.28	18:10:00	46.18

Pozo: ENACAL 058. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

102

t (min)	z (m)								
09:50:00	0	10:25:00	11.18	11:57:00	17.42	13:10:00	17.74	14:08:00	27.42
09:51:00	6.07	10:30:00	11.25	11:58:00	17.48	13:20:00	17.74	14:10:00	27.42
09:52:00	7.54	10:35:00	11.25	11:59:00	17.48	13:30:00	17.74	14:15:00	27.42
09:53:00	9.32	10:40:00	11.25	12:00:00	17.48	13:40:00	17.74	14:20:00	27.42
09:54:00	9.58	10:45:00	11.25	12:02:00	17.55	13:50:00	17.74	14:25:00	27.42
09:55:00	9.84	10:50:00	11.28	12:04:00	17.55	13:51:00	25.32	14:30:00	27.45
09:56:00	10.23	11:00:00	11.28	12:06:00	17.58	13:52:00	28.08	14:35:00	27.45
09:57:00	10.4	11:10:00	11.28	12:08:00	17.58	13:53:00	28.11	14:40:00	27.42
09:58:00	10.66	11:20:00	11.32	12:10:00	17.58	13:54:00	27.91	14:45:00	27.45
09:59:00	10.82	11:30:00	11.32	12:15:00	17.61	13:55:00	27.81	14:50:00	27.45
10:00:00	10.82	11:40:00	11.32	12:20:00	17.61	13:56:00	27.58	15:00:00	27.32
10:02:00	10.92	11:50:00	11.32	12:25:00	17.65	13:57:00	27.42	15:10:00	27.26
10:04:00	10.99	11:51:00	14.01	12:30:00	17.65	13:58:00	27.42	15:20:00	27.26
10:06:00	11.05	11:52:00	15.15	12:35:00	17.65	13:59:00	27.45	15:30:00	27.26
10:08:00	11.05	11:53:00	16.56	12:40:00	17.71	14:00:00	27.42	15:40:00	27.26
10:10:00	11.05	11:54:00	16.83	12:45:00	17.71	14:02:00	27.42	15:50:00	27.26
10:15:00	11.18	11:55:00	17.15	12:50:00	17.71	14:04:00	27.42		
10:20:00	11.18	11:56:00	17.32	13:00:00	17.71	14:06:00	27.42		

Pozo: ENACAL 102. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

5984

t (min)	z (m)								
10:00:00	0	10:08:00	12.66	10:25:00	13.41	11:10:00	12.83	13:00:00	13.25
10:01:00	12.08	10:09:00	12.75	10:30:00	13.33	11:20:00	13.16	13:30:00	13.16
10:02:00	11.91	10:10:00	12.75	10:35:00	13.33	11:30:00	12.91	14:00:00	13.16
10:03:00	12.08	10:12:00	12.83	10:40:00	13.41	11:40:00	12.91	14:30:00	13.16
10:04:00	12.13	10:14:00	13	10:45:00	13.41	11:50:00	13.25	15:00:00	13.16
10:05:00	12	10:16:00	13.16	10:50:00	13.08	12:00:00	13.33	15:30:00	13.16
10:06:00	12.33	10:18:00	13.16	10:55:00	13.16	12:20:00	13.16	16:00:00	13.16
10:07:00	12.5	10:20:00	13.16	11:00:00	12.83	12:40:00	13.16		

Pozo: McGregor 5984. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

5657									
t (min)	z (m)								
15:00:00	0	15:30:00	18.88	17:08:00	28.88	18:20:00	29.25	19:16:00	46.38
15:01:00	19.17	15:40:00	18.88	17:09:00	28.88	18:30:00	29.42	19:18:00	46.34
15:02:00	18	15:50:00	18.96	17:10:00	29.63	18:40:00	29.42	19:20:00	46.46
15:03:00	17.92	16:00:00	18.88	17:12:00	29	18:50:00	29.34	19:25:00	46.57
15:04:00	17.96	16:10:00	18.96	17:14:00	29.05	19:00:00	29.34	19:30:00	46.71
15:05:00	17.96	16:20:00	18.88	17:16:00	29.13	19:01:00	0	19:35:00	46.75
15:06:00	18.21	16:30:00	18.71	17:18:00	29.09	19:02:00	0	19:40:00	46.84
15:07:00	18.25	16:40:00	18.71	17:20:00	29.09	19:03:00	45.46	19:45:00	46.88
15:08:00	18.25	16:50:00	18.71	17:25:00	28.92	19:04:00	45.63	19:50:00	46.96
15:09:00	18.34	17:00:00	18.88	17:30:00	29.05	19:05:00	45.75	19:55:00	47
15:10:00	18.42	17:01:00	28.63	17:35:00	29.17	19:06:00	45.88	20:00:00	47
15:12:00	18.42	17:02:00	28.71	17:40:00	29.17	19:07:00	45.88	20:10:00	47.09
15:14:00	18.55	17:03:00	28.84	17:45:00	29.09	19:08:00	46	20:20:00	47.05
15:16:00	18.63	17:04:00	28.8	17:50:00	29.09	19:09:00	46	20:30:00	47.13
15:18:00	18.59	17:05:00	28.8	17:55:00	29.17	19:10:00	46.13	20:40:00	47.25
15:20:00	18.71	17:06:00	28.8	18:00:00	29.17	19:12:00	46.17	20:50:00	47.38
15:25:00	18.88	17:07:00	28.88	18:10:00	29.17	19:14:00	46.25	21:00:00	47.38

Pozo: McGregor 5657. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

PROMAPER 1									
t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)
08:00:00	0	10:15:00	26.896	14:00:00	56.159	17:35:00	68.208	10:25:00	74.986
08:01:00	11.404	10:20:00	26.788	14:01:00	1.399	17:40:00	69.069	11:25:00	75.094
08:02:00	11.081	10:25:00	26.788	14:02:00	9.36	17:45:00	70.037	12:25:00	74.986
08:03:00	11.296	10:30:00	26.681	14:03:00	8.284	17:50:00	70.468	13:25:00	74.986
08:04:00	11.296	10:35:00	26.573	14:04:00	7.746	17:55:00	70.683	14:25:00	74.986
08:05:00	11.404	10:40:00	27.326	14:05:00	6.778	18:00:00	71.005	15:25:00	74.986
08:06:00	11.727	10:45:00	27.111	14:06:00	6.563	18:05:00	71.005	16:25:00	74.986
08:07:00	11.942	11:00:00	27.111	14:07:00	6.132	18:10:00	71.651	17:25:00	75.094
08:08:00	12.049	11:15:00	27.111	14:08:00	5.917	18:25:00	72.296	17:26:00	10.436
08:09:00	12.049	11:30:00	27.111	14:09:00	5.81	18:40:00	72.727	17:27:00	12.91
08:10:00	12.48	11:45:00	27.219	14:10:00	5.487	18:55:00	73.265	17:28:00	12.157
08:15:00	13.34	12:00:00	27.434	14:15:00	4.411	19:10:00	73.695	17:29:00	11.189
08:20:00	13.986	12:01:00	51.102	14:20:00	3.658	19:25:00	73.91	17:30:00	10.543
08:25:00	13.986	12:02:00	52.286	14:25:00	3.335	19:40:00	74.341	17:31:00	9.898
08:30:00	14.416	12:03:00	52.931	14:30:00	2.797	19:55:00	74.125	17:32:00	9.36
08:35:00	14.416	12:04:00	51.533	14:35:00	2.474	20:10:00	74.341	17:33:00	9.037
08:40:00	14.739	12:05:00	51.963	14:40:00	2.044	20:25:00	74.125	17:34:00	8.714
08:45:00	14.847	12:06:00	52.071	14:45:00	2.044	20:55:00	74.125	17:35:00	8.499
09:00:00	15.277	12:07:00	52.609	15:00:00	1.506	21:25:00	74.233	17:40:00	7.208
09:15:00	15.169	12:08:00	52.609	15:15:00	1.183	21:55:00	74.448	17:45:00	6.24
09:30:00	15.062	12:09:00	53.039	15:30:00	0.753	22:25:00	74.663	17:50:00	5.702
09:45:00	14.954	12:10:00	53.039	15:45:00	0.646	22:55:00	74.448	17:55:00	5.164
10:00:00	15.277	12:15:00	53.469	16:00:00	0.538	23:25:00	74.878	18:00:00	4.734
10:01:00	24.852	12:20:00	54.545	17:25:00	0.646	00:25:00	74.878	18:05:00	4.411
10:02:00	25.82	12:25:00	54.76	17:26:00	63.475	01:25:00	74.878	18:10:00	4.196
10:03:00	25.605	12:30:00	55.298	17:27:00	64.12	02:25:00	75.094	18:25:00	3.443
10:04:00	26.358	12:35:00	55.298	17:28:00	64.766	03:25:00	74.986	18:40:00	3.012
10:05:00	26.143	12:40:00	55.406	17:29:00	65.734	04:25:00	75.094	18:55:00	2.69
10:06:00	26.573	12:45:00	55.729	17:30:00	66.272	05:25:00	75.201	19:10:00	2.474
10:07:00	26.466	13:00:00	55.513	17:31:00	66.917	06:25:00	75.416	19:25:00	2.152
10:08:00	26.466	13:15:00	55.944	17:32:00	67.24	07:25:00	75.416		
10:09:00	26.681	13:30:00	56.159	17:33:00	67.563	08:25:00	75.524		
10:10:00	26.466	13:45:00	56.159	17:34:00	67.455	09:25:00	75.201		

Pozo: PROMAPER 1. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

PROMAPER 2									
t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)
08:10:00	0	10:50:00	12.92	14:20:00	45.78	17:32:00	30.07	12:25:00	31.81
08:11:00	5.93	10:55:00	12.95	14:25:00	45.82	17:33:00	30.24	13:25:00	31.91
08:12:00	6.1	11:10:00	12.85	14:30:00	45.26	17:34:00	30.27	14:25:00	31.91
08:13:00	6.06	11:25:00	12.95	14:35:00	44.7	17:35:00	30.47	15:25:00	31.98
08:14:00	6.16	11:40:00	13.05	14:40:00	45.06	17:40:00	30.83	16:25:00	31.91
08:15:00	6.1	11:55:00	12.92	14:45:00	44.44	17:45:00	31.25	17:25:00	32.01
08:16:00	6.13	12:10:00	13.08	14:50:00	44.54	17:50:00	30.99	18:25:00	31.91
08:17:00	6.16	12:11:00	28.04	14:55:00	44.44	17:55:00	30.93	19:25:00	32.14
08:18:00	6.16	12:12:00	28.24	15:10:00	44.41	18:00:00	30.86	20:25:00	32.07
08:19:00	6.16	12:13:00	28.3	15:25:00	43.95	18:05:00	31.12	21:25:00	32.17
08:20:00	6.16	12:14:00	28.33	15:40:00	43.82	18:10:00	31.06	22:25:00	32.11
08:25:00	6.39	12:15:00	28.3	15:55:00	43.65	18:25:00	31.25	23:25:00	32.14
08:30:00	6.49	12:16:00	28.24	16:10:00	43.42	18:40:00	31.32	00:25:00	32.14
08:35:00	6.42	12:17:00	28.27	16:11:00	4.65	18:55:00	31.32	01:25:00	32.11
08:40:00	6.39	12:18:00	28.33	16:12:00	4.62	19:10:00	31.42	02:25:00	32.01
08:45:00	6.59	12:19:00	28.3	16:13:00	4.06	19:25:00	31.19	03:25:00	32.14
08:50:00	6.49	12:20:00	28.14	16:14:00	3.73	19:40:00	31.32	04:25:00	32.2
08:55:00	6.42	12:25:00	28.04	16:15:00	3.44	19:55:00	31.22	05:25:00	32.14
09:10:00	6.42	12:30:00	28.07	16:16:00	3.14	20:10:00	31.42	06:25:00	32.2
09:25:00	6.42	12:35:00	28.56	16:17:00	3.01	20:25:00	31.25	06:26:00	2.52
09:40:00	6.59	12:40:00	28.53	16:18:00	2.78	20:55:00	31.29	06:27:00	2.62
09:55:00	6.46	12:45:00	28.43	16:19:00	2.55	21:25:00	31.48	06:28:00	2.59
10:10:00	6.46	12:50:00	28.3	16:20:00	2.46	21:55:00	31.52	06:29:00	2.19
10:11:00	12.16	12:55:00	28.17	16:25:00	2.29	22:25:00	31.55	06:30:00	2.09
10:12:00	12.33	13:10:00	27.84	16:30:00	2.06	22:55:00	31.52	06:31:00	1.9
10:13:00	12.49	13:25:00	27.88	16:35:00	2.03	23:25:00	31.48	06:32:00	1.77
10:14:00	12.49	13:40:00	28.01	16:40:00	1.96	00:25:00	31.52	06:33:00	1.6
10:15:00	12.52	13:55:00	27.97	16:45:00	1.77	01:25:00	31.48	06:34:00	1.57
10:16:00	12.52	14:10:00	28.04	16:50:00	1.77	02:25:00	31.45	06:35:00	1.34
10:17:00	12.62	14:11:00	44.28	16:55:00	1.67	03:25:00	31.45	06:40:00	1.18
10:18:00	12.69	14:12:00	45.1	17:10:00	1.67	04:25:00	31.52	06:45:00	0.98
10:19:00	12.66	14:13:00	45.13	17:25:00	0	05:25:00	31.48	06:50:00	0.88
10:20:00	12.59	14:14:00	45.19	17:26:00	27.12	06:25:00	31.55	06:55:00	0.82
10:25:00	12.95	14:15:00	45.46	17:27:00	28.56	07:25:00	31.65	07:00:00	0.78
10:30:00	12.85	14:16:00	45.46	17:28:00	28.83	08:25:00	32.07	07:05:00	0.65
10:35:00	12.85	14:17:00	45.62	17:29:00	29.29	09:25:00	32.17	07:10:00	0.65
10:40:00	12.95	14:18:00	45.75	17:30:00	29.68	10:25:00	31.94	07:25:00	0.62
10:45:00	12.98	14:19:00	45.92	17:31:00	29.91	11:25:00	31.78		

Pozo: PROMAPER 2. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).

“Variaciones de los niveles estacionales del agua subterránea y Propiedades Hidráulicas de las unidades Geológicas que se comportan como acuífero en el área Oeste de Managua.”

PROMAPER 4									
t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)	t (min)	z (m)
07:30:00	0	09:40:00	18.17	13:00:00	42.34	15:03:00	44.08	07:48:00	42.24
07:31:00	8.17	09:45:00	18.76	13:15:00	43.07	15:08:00	40.11	08:48:00	42.11
07:32:00	7.77	09:50:00	19.35	13:30:00	42.74	15:13:00	40.05	09:48:00	42.18
07:33:00	7.84	09:55:00	19.16	13:31:00	0.52	15:18:00	40.05	10:48:00	42.11
07:34:00	9.02	10:00:00	19.52	13:32:00	5.18	15:23:00	40.21	11:48:00	42.05
07:35:00	8.82	10:05:00	19.68	13:33:00	3.84	15:28:00	40.28	12:48:00	42.01
07:36:00	9.09	10:10:00	19.52	13:34:00	4.26	15:33:00	40.24	13:48:00	42.01
07:37:00	8.33	10:15:00	19.25	13:35:00	3.35	15:48:00	41.16	14:48:00	42.05
07:38:00	8.43	10:30:00	19.58	13:36:00	3.77	16:03:00	41.13	15:48:00	42.01
07:39:00	9.41	10:45:00	19.58	13:37:00	3.25	16:18:00	41.19	16:48:00	42.05
07:40:00	9.25	11:00:00	19.75	13:38:00	2.85	16:33:00	41.1	17:48:00	41.98
07:45:00	9.51	11:15:00	19.09	13:39:00	2.53	16:48:00	41.29	17:49:00	0.06
07:50:00	10.59	11:30:00	18.76	13:40:00	1.94	17:03:00	42.05	17:50:00	4.1
07:55:00	8.5	11:31:00	36.41	13:45:00	1.77	17:18:00	42.11	17:51:00	4.16
08:00:00	8.5	11:32:00	37.49	13:50:00	1.18	17:33:00	42.05	17:52:00	6.72
08:05:00	8.82	11:33:00	37.49	13:55:00	0.52	17:48:00	42.11	17:53:00	3.28
08:10:00	8.66	11:34:00	38.24	14:00:00	1.25	06:18:00	42.08	17:54:00	3.21
08:15:00	7.9	11:35:00	39.33	14:05:00	1.08	18:48:00	42.05	17:55:00	3.11
08:30:00	8.5	11:36:00	39.66	14:10:00	0.75	07:18:00	42.08	17:56:00	3.02
08:45:00	8.5	11:37:00	38.84	14:15:00	0.26	19:48:00	42.08	17:57:00	2.26
09:00:00	9.09	11:38:00	39.66	14:30:00	0	08:18:00	42.11	17:58:00	2.2
09:15:00	10.92	11:39:00	39.75	14:48:00	0	20:48:00	42.15	18:03:00	1.28
09:30:00	9.58	11:40:00	39.92	14:49:00	35.16	21:48:00	42.18	18:08:00	1.21
09:31:00	16.5	11:45:00	42.57	14:50:00	37.98	22:48:00	42.28	18:13:00	1.18
09:32:00	17.58	11:50:00	41.82	14:51:00	39	23:48:00	42.18	18:18:00	1.05
09:33:00	17.68	11:55:00	43.33	14:52:00	40.21	00:48:00	42.21	18:23:00	0.26
09:34:00	18.83	12:00:00	42.9	14:53:00	41.26	01:48:00	42.18	18:28:00	0.23
09:35:00	18.66	12:05:00	43.76	14:54:00	42.15	02:48:00	42.28	18:33:00	0.23
09:36:00	17.52	12:10:00	43.92	14:55:00	42.18	03:48:00	42.05	18:48:00	0.16
09:37:00	18.07	12:15:00	42.51	14:56:00	43	04:48:00	41.98	19:03:00	0.1
09:38:00	17.52	12:30:00	42.74	14:57:00	43.13	05:48:00	41.98	19:18:00	0.03
09:39:00	18.01	12:45:00	42.74	14:58:00	43.2	06:48:00	41.98		

Pozo: PROMAPER 4. Datos de pruebas de bombeo: descenso (z) con respecto a tiempo (t).