



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

***FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA EN GEOLOGÍA***

***Seminario de graduación para optar al título de Ingeniero Geólogo***

***Caracterización hidrogeológica de la parte noroeste del  
acuífero Las Sierras.***

***Elaborado por:***

***Br. Daniel Alejandro Martínez Ruiz.***

***Br. Mario Isaac Chevez Rodriguez.***

***Tutor: Msc. Gema Velásquez.***

***Managua 2017***

## **DEDICATORIA.**

Dedico esta tesis primeramente a Dios ya que él es el que me permite levantarme cada día y me da la fuerza para seguir adelante, seguidamente de mis padres Rodolfo Antonio Martínez y Gloria Estela Ruiz, quienes me dieron la vida, educación, consejo y sobre todo el apoyo en todas y cada una de las decisiones tomadas, a mis hermanos, amigos y familiares que de una u otra manera siempre me brindaron el apoyo para culminar mi carrera.

Además de mis compañeros de estudio, con los que tuvimos un sin número de experiencias las que nos han servido para llegar hasta donde hemos llegado y de las cuales nos han enseñado que de los errores se aprende para seguir adelante y no darnos jamás por vencidos en todas y cada una de las metas a alcanzar.

***Daniel Martínez***

Sobre todas las cosas a dedico este logro a Dios por nunca haberme dejado y proveer lo necesario para culminar la carrera y este trabajo investigativo, El da y quita en este caso me dio más de lo que merecía y esperaba, a mi familia por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí, dedico especialmente este trabajo a mi hija Linda Chevez que desde que llegó se convirtió en mi gran motivación e inspiración para culminar esta etapa en mi vida.

***Mario Chevez***

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco primeramente a Dios por haberme dado la vida, por protegerme, cuidarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por brindarme una vida llena de aprendizajes y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres, Rodolfo y Gloria ya que han sido los pilares fundamentales en mi preparación, por apoyarme siempre a cada momento y por no permitirme desistir cuando estuve a punto de hacerlo, gracias por todos los consejos brindados, por los valores inculcados, por la educación que me han dado, le agradezco a mi padre por todo lo que me enseñó, todo el trabajo que realizamos juntos, te agradezco por enseñarme a respetar y a tratar a todas las personas por igual, gracias por todas las experiencias vividas.

Te agradezco padre que aun estando incapacitado jamás desististe en apoyarme y aconsejarme a que culminara mi carrera sin importar todas las adversidades por las que hemos pasado.

A mis hermanos por apoyarme y estar ahí cuando los he necesitado, a todos los familiares que siempre han estado apoyándome, a mi mamá Elsa que toda la vida me ha cuidado, ayudado, me ha brindado apoyo y me ha enseñado andar siempre por el buen camino, de igual forma a todas las amistades que siempre han estado ahí en todo momento para para apoyarme a seguir siempre adelante.

A Leslie Ivania por ser una parte muy importante en mi vida, por dedicarme tiempo y saber comprenderme, gracias por todo el apoyo y por acompañarme en las buenas y en las malas y sobre todo por tu paciencia y amor incondicional.

A nuestra tutora Gema Velásquez, por dedicar su tiempo, paciencia y dedicación durante el desarrollo de nuestro seminario de graduación

A todos los maestros, a los que están y los que ya han partido a la presencia del señor, gracias por brindarnos sus conocimientos y darnos siempre un apoyo incondicional.

***Daniel Martínez***

Agradezco a Dios por haber provisto de todo lo necesario en la carrera desde principio a fin sin Él nunca hubiera sido posible llegar hasta aquí, a mis padres Mario Chevez y María Rodríguez por todo su esfuerzo para poder llegar hasta aquí, por haber creído en mí y darme siempre su apoyo incondicional, paciencia y consejos sin ustedes no hubiera llegado hasta donde estoy, a mi esposa Sara Nohemí por su confianza, consejos y motivación a terminar este trabajo, a mis hermanos Yesica, Imara y Otoniel por estar pendiente de mí, a nuestra tutora Msc. Gema Velásquez gracias por su paciencia consejos, y muchas otras personas que por espacio no las puedo mencionar pero que sin duda alguna han hecho este trabajo posible.

***Mario Chevez***

## RESUMEN

La presente investigación fue realizada en el municipio de Managua, departamento de Managua. Dicha investigación presenta en su desarrollo la caracterización física del área de estudio, en la cual, se tomó en cuenta el clima, precipitación, temperatura, evapotranspiración, taxonomía de suelos y geomorfología.

Otros factores considerados durante la investigación fue la geología, debido a que se considera la base de la hidrogeología, ya que es la que se encarga de condicionar el medio en que fluyen las aguas subterráneas; para lograr cumplir con los objetivos se tomó en cuenta la recarga e infiltración, inventario de fuentes de aguas subterráneas (Pozos), hidrodinámica del acuífero, el análisis hidráulico del acuífero, calidad de las aguas y la hidroquímica de las mismas.

La caracterización climática se realizó de acuerdo a los datos de precipitación obtenidos de las estaciones pluviométricas, Aeropuerto, El Campbell (INETER), San Isidro de la Cruz Verde y La primavera, además de los datos de temperatura obtenidos de la estación meteorológica Aeropuerto, los cuales se utilizaron para verificar lo descrito en la caracterización climática presentada por Köppen, en la que asigna para el departamento de Managua y sus alrededores el tipo de clima tipo caliente y subhúmedo (AW1 y AW0), las cuales, predominan en toda la región del pacífico del país.

La taxonomía de suelos en el área de estudio se caracteriza por clasificarse en tres tipos, estos son: Mollisoles, Inceptisoles y Entisoles, que se distinguen por presentar distintas texturas y distintos comportamientos con respecto a la capacidad de infiltración por parte de las precipitaciones que caen sobre ellos; la geomorfología en el área de estudio es variable en ella se presentan crestas, a partir de estas dan lugar a la presencia de Pie de Monte, Coluviales, Aluviales y Valles extensos con Depósitos aluviales.

Desde el punto de vista geológico el área de estudio se ubicada en el graben de Managua perteneciente a la provincia geológica de la Depresión Nicaragüense, la cual se presenta dividida en dos grandes grupos: El Grupo Las Sierras del Pleistoceno constituido por ignimbritas y el Grupo Managua del Cuaternario, compuesto por depósitos piroclásticos poco consolidados, (Woodward-Clyde, 1975).

La recarga e infiltración fue obtenida a partir del balance hídrico de suelos tomando esto con el fin de conocer el aporte a las aguas subterráneas producto de las precipitaciones. Por medio del inventario de pozos se logró generar las curvas piezométricas con el fin de conocer la hidrodinámica del acuífero.

Los parámetros hidráulicos fueron calculados a partir de las pruebas de bombeo realizados a distintos pozos ubicados dentro del área de estudio, a partir de los ensayos de bombeo se logró conocer las transmisividades, conductividad eléctrica y capacidad específica del acuífero.

A partir del muestreo de agua que se ejecutó en algunos de los pozos ubicados dentro del área de estudio, se logró realizar el análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos que presentan cada muestra colectada. A partir de los análisis de parámetros físico-químicos se logró realizar la caracterización hidroquímica del agua, esto por medio de la cantidad de aniones y cationes presente en las muestras.

## Tabla de contenido.

<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2 Justificación. ....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Objetivos.....	6
• General.....	6
• Específicos .....	6
1.5. Ubicación del área de Estudio. ....	7
1.6. Caracterización Física del Área de Estudio.....	9
1.6.1 Precipitación.....	9
1.6.2 Temperatura. ....	13
1.6.3 Evapotranspiración. ....	15
1.6.4 Suelos.....	16
1.6.5 Geomorfología.....	19
1.6.6 Contexto hidroquímico. ....	22
1.6.7 Amenazas volcánicas y sísmicas. ....	24
1.6.8 Amenaza por inundación.....	26
<b>CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO.</b> .....	<b>28</b>
2.1. Enfoque.....	28
2.2. Tipo de Investigación .....	28
2.3. Universo o población. ....	28
2.4. Muestra.....	29
2.5. Métodos.....	29
2.5.1 Recopilación de información. ....	29
2.5.2 Caracterización física del área de estudio. ....	29
2.5.3 Método de Hantush para determinar transmisividad.....	30
2.5.3 Formula de Jacob para determinar transmisividad. ....	31



2.5.4 Evapotranspiración por el método de Hargreaves.....	31
2.5.5 Polígonos de Thiessen. ....	32
2.5.6 Balance Hídrico de suelo (Schosinsky 2007).....	33
2.5.7 Pruebas de bombeo. ....	33
2.6. Instrumentos.....	35
2.6.1 Permeámetro de Guelph.....	35
2.6.2 Sonda de medir nivel de agua.....	36
2.6.3 GPS de Mano.....	37
CAPITULO III. GEOLOGIA REGIONAL DE CENTROAMERICA. ....	38
3.1. Tectónica.....	38
3.2. Geología de Nicaragua. ....	42
3.3. Geología Local. ....	45
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ....	51
4.1. Recarga e infiltración. ....	51
4.2. Hidrodinámica de acuífero.....	62
4.2.1 Profundidad del agua subterránea.....	63
4.2.2 Piezometría de acuífero. ....	64
4.2.3 Modelo tridimensional del agua subterránea. ....	66
4.3. Identificación de zonas de recarga hídrica.....	68
4.4. Propiedades Hidrogeológicas del Acuífero.....	71
4.4.1 Transmisividad.....	73
4.4.2 Conductividad Hidráulica ....	84
4.4.3 Capacidad específica ....	85
4.5. Calidad de agua.....	86
4.5.1 Parámetros de Campo. ....	87
4.5.2 Análisis de resultados Físico-químicos. ....	89
4.5.3 Análisis de resultados Bacteriológico.....	93
4.6. Hidroquímica. ....	95
4.7. Riesgos potenciales de contaminación. ....	99
Conclusiones .....	102
5. Recomendaciones.....	103

<b>Bibliografía .....</b>	<b>104</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo 1. Datos Climáticos.....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo 2. Graficas de velocidad de infiltración de las pruebas realizadas. ....</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 3. Inventario de pozos. ....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 3. Pruebas de bombeo. ....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 4. Resultados de Análisis de calidad de aguas. ....</b>	<b>136</b>
<b>Anexo 5. Galería de fotos.....</b>	<b>145</b>

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.**

La principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano son las aguas subterráneas, por lo tanto, es de vital importancia la protección y el uso sostenido del recurso hídrico contenido en las unidades hidrogeológicas; el conocimiento de la disponibilidad e hidrodinámica de acuífero es una herramienta que contribuye en la planificación estratégica de gestión y manejo del recurso hídrico, (Corrales, D, 2005).

En los últimos años el país ha venido enfrentando una crisis de disponibilidad y calidad de agua, cabe mencionar que la actividad antropogenica es la principal causante del actual estado de contaminación y la disminución de la cantidad del recurso en las fuentes subterráneas del país, (Corrales, D, 2005).

En general los depósitos volcánicos Cuaternario del graben de Managua se comportan de tal manera que transmiten y almacenan el agua formando acuíferos porosos, estos depósitos han sido denominados acuífero Las Sierras, esta condición permite que en estos se almacenen grandes volúmenes de agua, con propiedades hidráulicas favorables para la explotación del recurso hídrico, (Krasný (1998).

Para evaluar la disponibilidad del recurso en el área de estudio se estimó el volumen que aportan las precipitaciones al manto acuífero en el periodo lluvioso teniendo en cuenta los factores que pueden limitar o favorecer la recarga al acuífero tales como temperatura precipitación, suelo, vegetación y pendiente.

En la presente investigación se realizó un monitoreo de la mayor cantidad de pozos posibles en el área de estudio, de los cuales se levantaron la información básica de diseño de los mismos, sin embargo el dato más importante corresponde al Nivel Estático del Agua (NEA) a través de los cuales se logró determinar la hidrodinámica del acuífero.

Con el fin de identificar posibles fuentes de contaminación al cuerpo de agua subterráneo en estudio se georreferenciaron las gasolineras ubicadas en el área urbana de Managua, ya que los tanques de almacenamiento de las mismas pueden representar una amenaza de contaminación si los mismos no están contruidos a una distancia prudentes de las fallas y sistemas de fallas que se localizan en la capital, ya que si se presenta un evento sísmico mayor los depósitos de almacenamiento de combustible podrían presentar fallas y ocasionar un derrame de combustible e infiltración en el subsuelo y alcanzar el acuífero afectando la calidad del agua del mismo, por otra parte la mecánica y granulometría del suelo podría favorecer la infiltración de estos contaminantes ya que una alta porosidad y suelos poco compactos serían las condiciones ideales para que una estela de contaminación se propague y alcance el acuífero.

### **1.1. Antecedentes.**

**Jiry Krasný (1998)**, Estudio Hidrogeológico del Pacífico de Nicaragua: Esta investigación se realizó con el fin de presentar el primer mapa hidrogeológico de la región Pacífica de Nicaragua a escala 1: 250,000, en el cual se presentan las condiciones hidrogeológicas de los principales acuíferos del pacífico del país, los resultados comprenden tres mapas temáticos, Chinandega, Managua y Granada, en ellos se presentan los tipos de medios hidrogeológicos, transmisividades y piezometría.

**Hecht, G., (1998)**, elaboró un Mapa hidroquímico de los acuíferos del Pacifico de Nicaragua realizado a escala 1:250,000 en este se presentan los tipos de agua, así mismo se presentan concentraciones químicas de elementos nocivos para la salud tales como Cloruro, Nitrato, Boro y Fluoruro.

**Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), 2009)**, Elaboró un Mapa Piezométrico del Acuífero Las Sierras: El mapa fue elaborado por medio de la red de vigilancia piezométrica nacional de INETER, en este se presenta la hidrodinámica del acuífero Las Sierras a una escala 1: 100,000.

**Fenzl, Norbet (1988)**, Realizó en Nicaragua un trabajo que consistió en una recopilación de información científica en las áreas de clima, geografía, hidrogeología y geología, esto fue posible a través de la colaboración de varios investigadores e instituciones dedicadas a la investigación tales como INETER. G. Hodgson y C. Valle, en este trabajo se presentan las primeras delimitaciones de sistemas de acuíferos dando un enfoque regional en comparación con la delimitación actual, este trabajo aporta las primeras nociones de las propiedades hidráulicas de los acuíferos del país.

**Rivera Gonzales (2010)**, Realizó una caracterización hidrogeología de la parte oeste de Managua en el cual se presenta un análisis de las condiciones hidrogeológicas del ambiente geológico, estructural y tectónico involucrado en las formaciones hidrogeológicas, presenta una relación entre las formaciones de los depósitos volcánicos y sus características de deposición, el trabajo mencionado fue realizado al oeste del área de investigación en el acuífero Chiltpe-Mateare.

**Murrillo Siria (2010)**, presenta un estudio hidrogeológico de la parte oeste de Managua, el estudio se enfocó en determinar e interpretar las propiedades hidráulicas y las variaciones de los niveles de agua subterránea, la estimación del balance hídrico, observaciones de recarga y descarga y un modelo hidráulico preliminar, cabe mencionar que este estudio se encuentra al oeste del área de estudio en el acuífero Chiltpe-Mateare.

## **1.2 Justificación.**

La hidrogeología es la rama de la geología que se encarga de estudiar el origen y formación de las aguas subterráneas, los estudios hidrogeológicos son de especial interés ya que a través de los mismos es posible conocer las propiedades de las unidades hidrogeológicas y generar información que pueda ser utilizada a fin de garantizar una adecuada gestión de los recursos hídricos.

El área de estudio no cuenta con una caracterización hidrogeológica detallada, el estudio hidrogeológico del Pacífico de Nicaragua elaborado por Krasny y publicado por el Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales (INETER) en 1998 es el único que presenta información hidrogeológica del área de estudio, sin embargo este se realizó a una escala regional (1: 25,000) el cual debería ser actualizado periódicamente (al menos cada 5 años).

Por otra parte un insumo importante de la caracterización hidrogeológica es la hidrodinámica del acuífero ya que a través de ella se conoce el movimiento de las aguas subterráneas lográndose identificar zonas de recarga, descarga y las zonas de sobre explotación del recurso hídrico en el acuífero. El último mapa piezométrico realizado en el acuífero Las Sierras fue en el 2009, por INETER, sin embargo los niveles piezométricos tienden a variar en el tiempo y espacio, considerando que el área de estudio se extiende en su mayoría en el área urbana de Managua donde anualmente se extraen grandes volúmenes de agua, por ende esta información debe ser actualizada al menos cada 5 años a través de monitoreo semestral de los niveles de agua.

Esta investigación tiene como finalidad realizar la caracterización hidrogeológica y actualización de las zonas de recarga y posibles zonas de explotación intensiva del recurso hídrico, además se presentan datos de parámetros hidráulicos de acuífero, tales como Transmisividad, capacidad específica y conductividad hidráulica.

### **1.3. Planteamiento del problema.**

Es imprescindible conocer la disponibilidad del recurso y las propiedades de las unidades hidrogeológicas donde el agua es almacenada y transmitida, he ahí la importancia del presente trabajo ya que el área de estudio no cuenta con una caracterización hidrogeológica detallada, que permita conocer las propiedades hidráulicas del acuífero y su comportamiento en toda la extensión del mismo, por otra parte en el área no se ha realizado la hidrodinámica del acuífero a detalle que

permite identificar y evaluar las posibles zonas de extracción intensiva del recurso hídrico, por otra parte en el área de investigación no se han delimitado las zonas de recarga del acuífero Las Sierras.

#### 1.4. Objetivos

- **General**

Caracterizar el medio físico e hidrogeológico en la parte noroeste del acuífero Las Sierras.

- **Específicos**

- Estimar la recarga potencial, producto de las precipitaciones en el área de estudio.
- Determinar la hidrodinámica del agua subterránea del acuífero en el área delimitada.
- Evaluar parámetros hidráulicos de acuífero en la zona estudiada.
- Determinar las características hidroquímicas del agua en el área de investigación.



### **1.5. Ubicación del área de Estudio.**

El área de investigación se ubica en el municipio de Managua departamento de Managua, capital de Nicaragua, hidrológicamente se ubica en la cuenca N° 69 denominada Río San Juan, hidrogeológicamente el área se ubica en el acuífero Las Sierras exactamente la porción noroeste del mismo el cual en este extremo limita con el acuífero Chiltepe-Mateare, al sur con los acuíferos de la Meseta de Carazo, al este con el acuífero Tipitapa-Malacatoya.

El área delimitada tiene una extensión de 241 km<sup>2</sup> que corresponde al 22.7%, del área total del acuífero Las Sierras. El área de estudio limita al norte con el Lago de Managua, al sur con el acuífero de la Meseta de Carazo, al este con la continuación del acuífero Las Sierras y al oeste con el acuífero Chiltepe-Mateare, (Ver Figura 1).

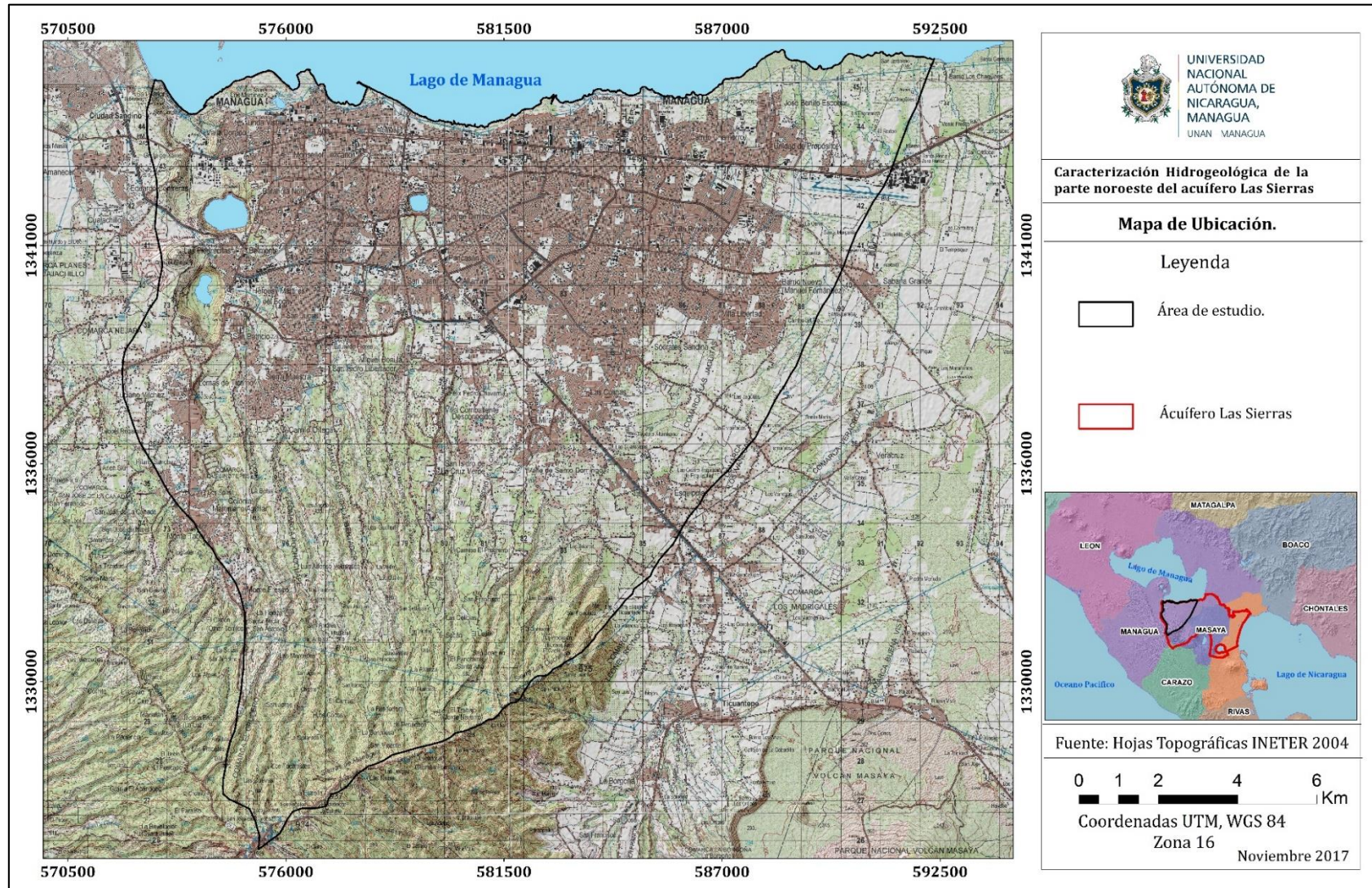


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de investigación, (INETER, 2004).

## **1.6. Caracterización Física del Área de Estudio.**

El clima se puede definir como el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en una región de la superficie terrestre. Para describir el clima de un lugar se consideran los mismos elementos que para definir el tiempo meteorológico: temperatura, presión, precipitaciones, etc.; basándose en observaciones prolongadas y trabajando con los promedios de los datos obtenidos.

De acuerdo a INETER (2005), Nicaragua es afectada climatológicamente por ondas tropicales, zonas de convergencias intertropicales, vórtices ciclónicos tropicales, brisas de mar y montaña, sistemas anticiclónicos continentales y marítimos, frentes fríos, el niño, la niña y tormentas convectivas asociadas a fenómenos eléctricos.

INETER (2005), presento la clasificación climática de Köppen, en la cual se identifica que el área de estudio se ubica en el clima tipo caliente y subhúmedo (AW1 y AW0), este clima predomina en toda la región del Pacífico, se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre-abril) y otra lluviosa (mayo-octubre), la precipitación media varía desde 600 mm hasta un máximo de 2,000 mm anuales, en tanto que la temperatura media varía de 18-30°C.

### **1.6.1 Precipitación.**

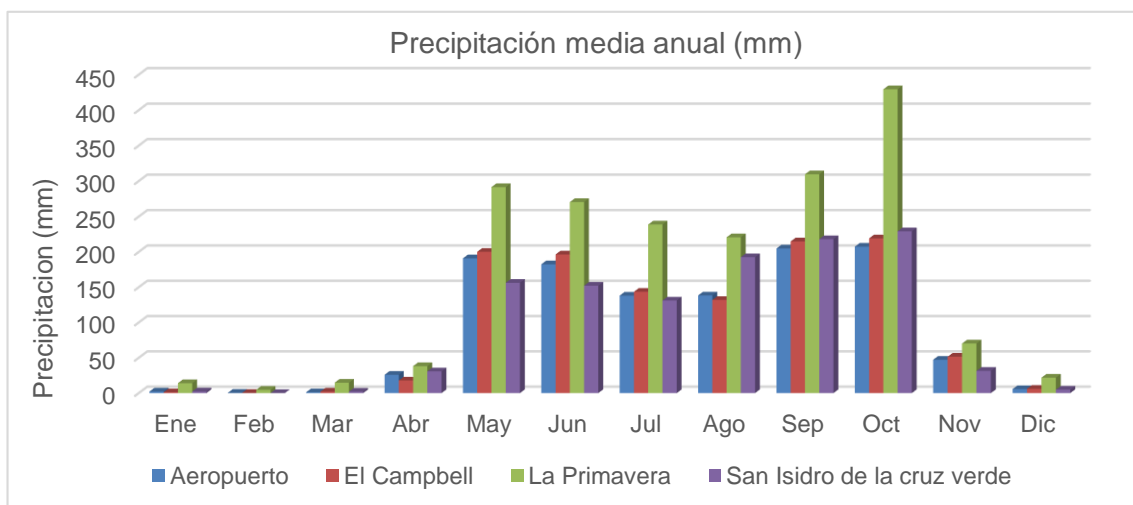
Uno de los principales componentes del clima que sirve como regulador del ciclo hidrológico en un territorio es la precipitación, también influye en el carácter de la ecología, el paisaje y los usos del suelo (Milán, 2009).

En Nicaragua existen dos estaciones claramente definidas: la estación seca (noviembre-abril) y la estación lluviosa (mayo-octubre). El 90% de las lluvias caen durante la estación lluviosa con una pequeña interrupción entre julio y agosto, llamada “canícula” o “veranillo” (Krásný & Hecht, 1998).

Para abordar la variable climática de precipitación en el área de estudio se realizaron polígonos de Thiessen, el cual consiste en delimitar las áreas de influencia de las precipitaciones de una estación meteorológica, para ello se utilizaron las estaciones Aeropuerto, El Campbell, San Isidro de la cruz verde y La Primavera.

En el grafico 1 se presentan los datos de la precipitación media de las estaciones localizadas en el área de estudio, en cada caso se trabajó con los datos disponibles, la precipitación media de la estación Aeropuerto y El Campbell se estimó usando los datos del periodo 2002-2016 (15 años), en tanto que las estaciones La Primavera y San Isidro de la Cruz Verde se usó el periodo 2002-2012 (11 años).

De acuerdo a los datos presentados en el grafico 1, en el área de estudio se presentan dos periodos bien marcados en el año, un periodo seco de noviembre a abril donde las precipitaciones llegan a ser prácticamente nulas, y uno lluvioso de mayo a octubre. Cabe mencionar que el mes de octubre ocurren las máximas precipitaciones en todas las estaciones utilizadas en la investigación.



**Gráfico 1.** Datos Históricos de Precipitación en las estaciones del área de estudio, (INETER, 2002-2016).

En la figura 2, se visualizan las áreas de influencia de cada estación, para estimar la precipitación media de cada polígono se utilizaron los datos de precipitación de las estaciones antes mencionadas; en el área de estudio se presentan precipitaciones mínimas anuales de 1,114.51 mm, aumentando gradualmente a medida que aumenta la elevación en la estación El Campbell con 1,150.91 mm anuales, en tanto que en la estación San Isidro de la Cruz Verde se presentan precipitaciones medias de 1,185.18 mm al año, por último en la estación La Primavera ocurren las mayores precipitaciones máximas del área de estudio con 1,923.82 mm.

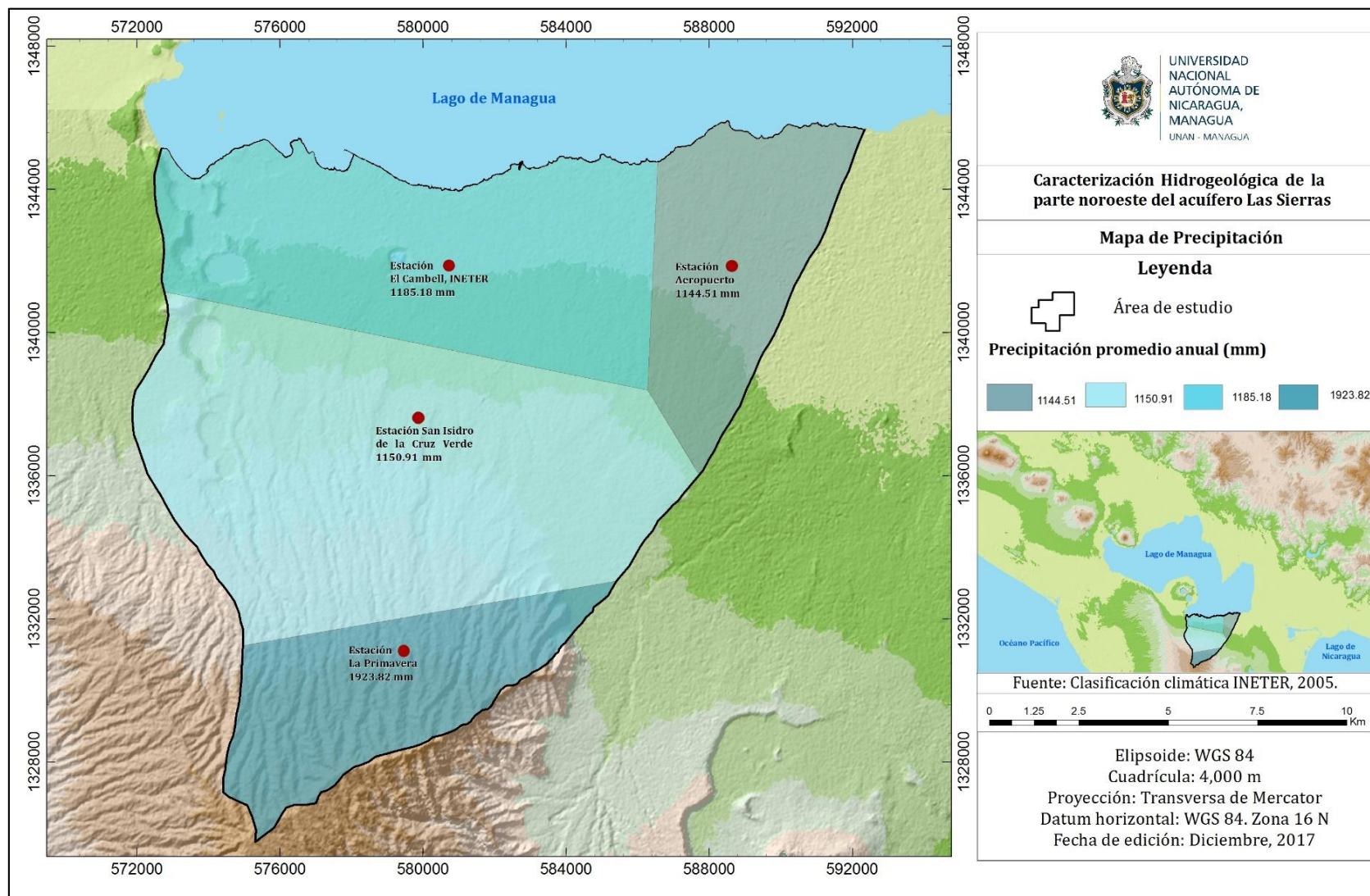
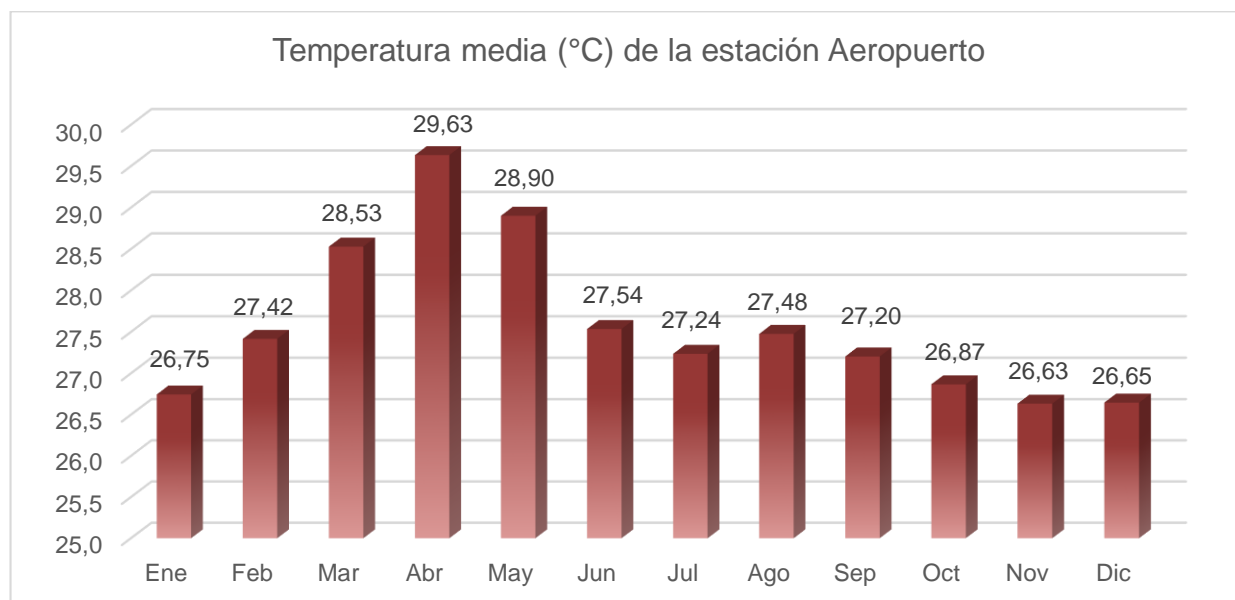


Figura 2. Mapa de precipitación promedio anual del área de estudio (INETER, 2005).

## 1.6.2 Temperatura.

Para abordar la variable climática del área de estudio se utilizó la estación Aeropuerto ya que es la única que cuenta con datos completos e ininterrumpidos, se tomaron los datos del periodo 2002-2016 (15 años).



**Gráfico 2.** Comportamiento de la temperatura media en el área de investigación (INETER, 2002-2016).

En el gráfico 2 se observa los datos de temperatura media correspondiente al periodo antes mencionado, de acuerdo a estos en el área de estudio se presentan las temperaturas máximas en los meses de abril y mayo, después de estos las temperaturas disminuyen gradualmente hasta alcanzar las temperaturas mínimas del año en el mes de noviembre, a partir de este las temperaturas empiezan a aumentar hasta alcanzar las máximas nuevamente en el mes de abril.

De acuerdo al mapa de temperatura de (INETER, 2005), en el área de estudio las temperaturas oscilan entre 22-28°C (Figura 2), presentándose las temperaturas más altas en la parte bajas, y las temperaturas menores en las partes más altas (Figura 3).

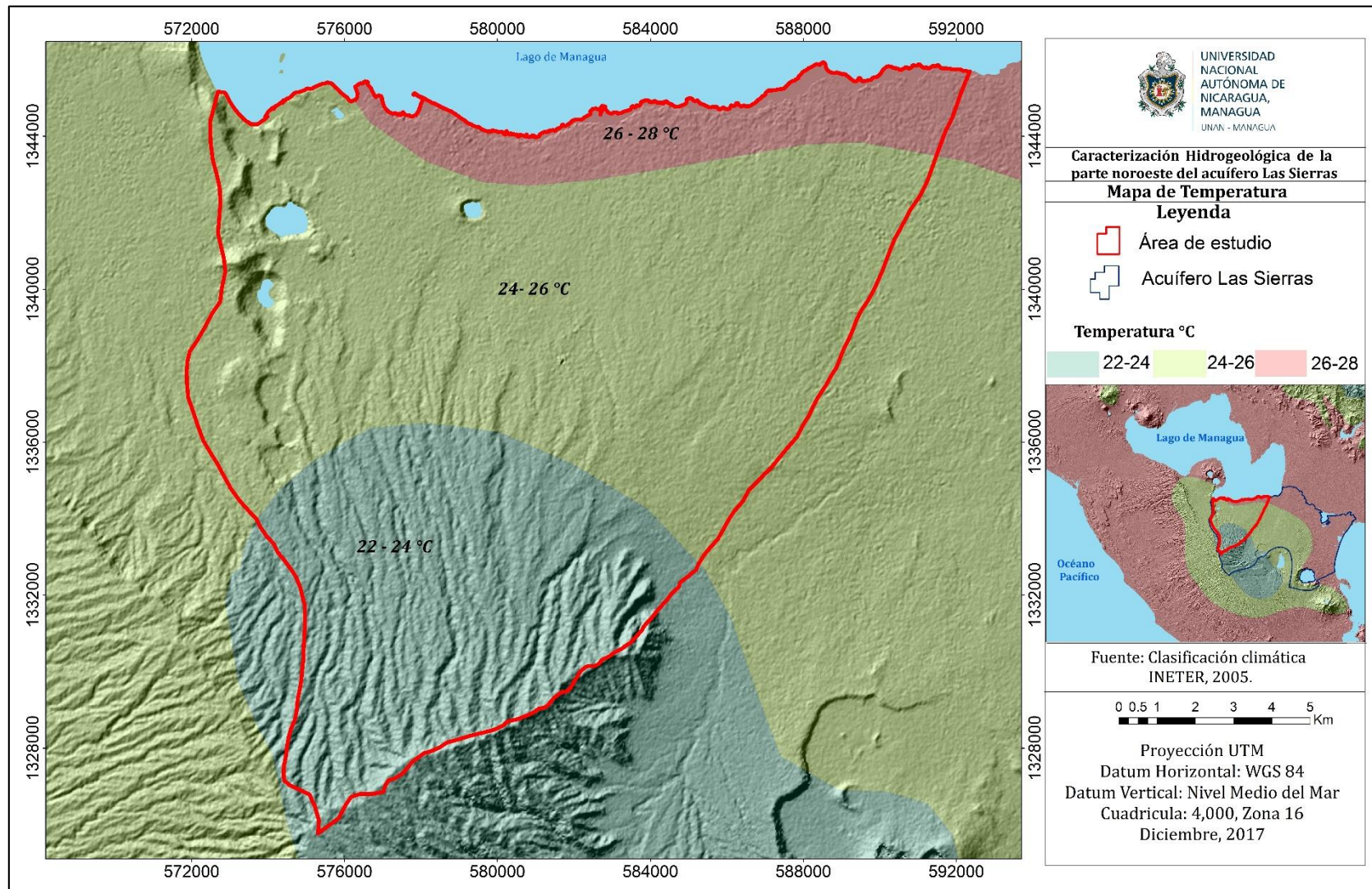


Figura 3. Mapa de temperatura media del área de investigación, (INETER, 2005).



### 1.6.3 Evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó a través del método de Hargreaves, utilizando datos de temperatura de la estación Aeropuerto, con una serie de 15 años. La ETP se calculó en 2,060.8 mm (Tabla 4).

El método de Hargreaves utiliza la siguiente expresión matemática:

$$ETP = 0.0023 * (t_{med} + 17.78) * Ro * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Donde, tmed: Temperatura media,

Ro: Radiación solar Extraterrestre

tmax: Temperatura máxima absoluta

tmin: Temperatura mínima absoluta

**Tabla 1.** Evapotranspiración media por el método de Hargreaves de la estación Aeropuerto, (Periodo 2002-2016).

Cálculo de ETP por fórmula de Hargreaves Simplificada					Estación Aeropuerto				
	Promedios Mensuales				Radiación		Evapotrans		
Mes	Temp	Temp	Temp Min	$(T_{Mx}-T_{Min})^{0.5}$	RO	RO (mm/d)	ETO diario	Días mes	ETO
Ene	34.33	26.75	18.54	3.97	30.9	12.61	5.1	31	159.1
Feb	35.35	27.42	19.08	4.03	33.8	13.79	5.8	28	161.9
Mar	36.65	28.53	19.99	4.08	36.5	14.89	6.5	31	200.7
Abr	37.32	29.63	21.51	3.98	38.0	15.50	6.7	30	201.7
May	37.10	28.90	22.59	3.81	38.0	15.50	6.3	31	196.6
Jun	34.87	27.54	22.49	3.52	37.6	15.34	5.6	30	168.7
Jul	34.47	27.24	22.08	3.52	37.6	15.34	5.6	31	173.3
Ago	34.88	27.48	22.19	3.56	37.8	15.42	5.7	31	177.3
Set	34.58	27.20	22.11	3.53	36.9	15.06	5.5	30	165.0
Oct	33.85	26.87	21.74	3.48	34.5	14.08	5.0	31	155.9
Nov	33.66	26.63	18.91	3.84	31.5	12.85	5.0	30	151.2
Dic	34.03	26.65	19.17	3.85	30.0	12.24	4.8	31	149.4
<b>Anual</b>	<b>35.09</b>	<b>27.57</b>	<b>20.87</b>				<b>TOTAL</b>		<b>2060.8</b>

El comportamiento de la evapotranspiración de la estación Augusto César Sandino aumenta de enero a abril, donde se aprecia su máximo valor, disminuye hasta junio, aumenta ligeramente hacia agosto y finalmente disminuye gradualmente hasta diciembre, donde se registra el valor más bajo.

#### **1.6.4 Suelos.**

Los suelos son la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos. Los suelos se pueden clasificar en inorgánicos, como la arena, arcilla, agua y el aire y los orgánicos, como son los restos de plantas y animales, (Rivas, 2006).

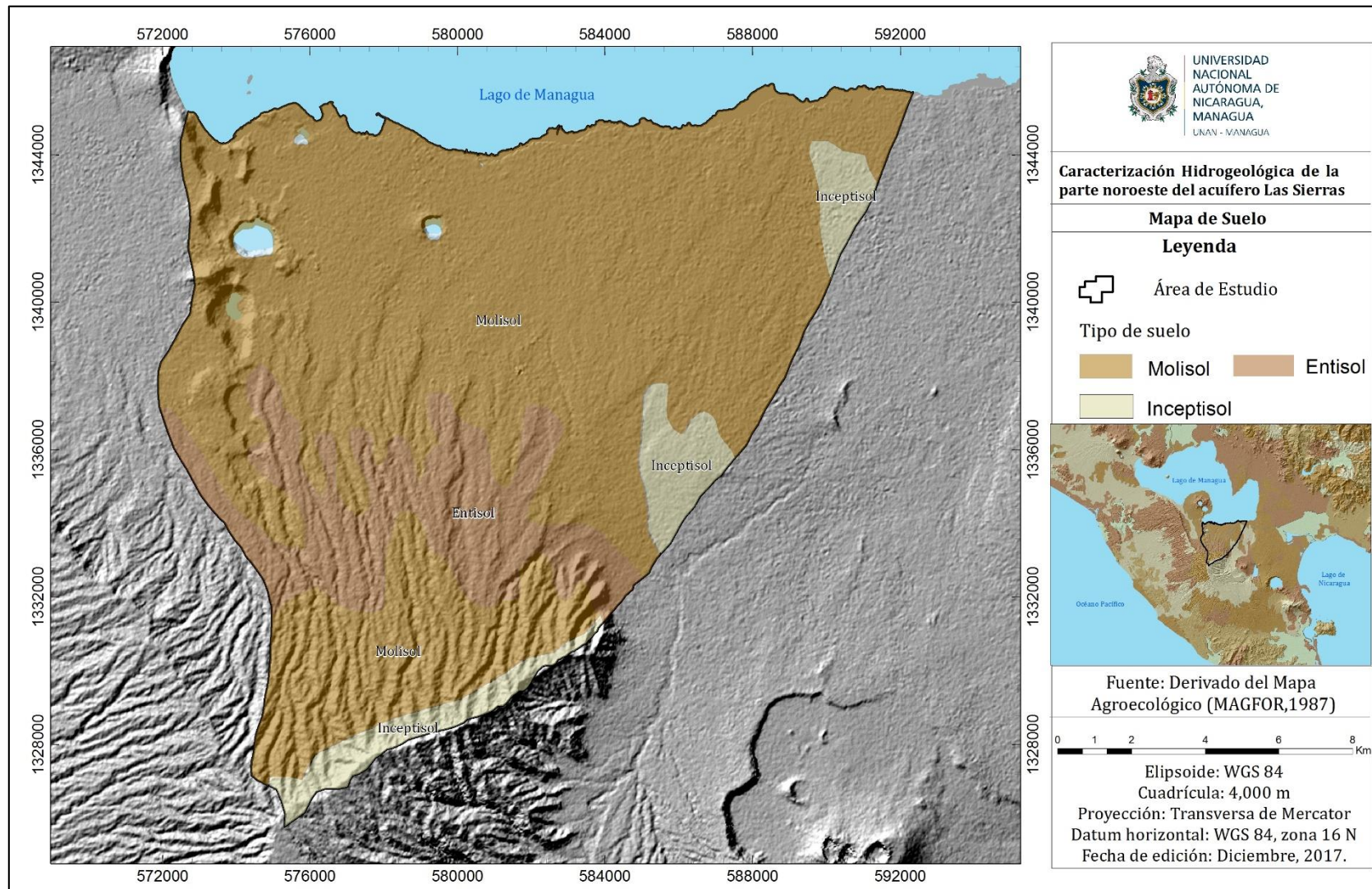
Generalmente los suelos de Managua, son de origen volcánico: lavas, cenizas y lodos volcánicos, arrastrados desde las alturas volcánicas (Fenzel, 1989). Estas características hacen que los suelos de dicho municipio, se dividan en tres (3) tipos: Entisoles, Molisoles e Inceptisol, (Figura 4).

**Molisol:** este tipo de suelo presenta una amplia distribución en el área de estudio este abarca gran parte del área, los suelo molisoles son suelos minerales con estado de desarrollo incipiente, joven o maduro, de poco a muy profundos, desarrollados a partir de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánicos, rocas básicas, ácidas y piroclásticos, además de fertilidad de baja a alta, en estos suelos predominan las texturas de franco arenosos a franco arcillosos con colores que varían de pardo grisáceo a pardo rojizo, gris y pardo oscuro, las profundidades oscilan de 60 a 120 cm, predomina en la región de la depresión Nicaragüense con rasgos de pendientes de 0-75°.

**Entisol:** estos suelos se presentan en menor proporción que los suelo molisoles, estos se extienden en la parte media del área de estudio; son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos, la mayoría no poseen el horizonte superficial con algún nivel de

desarrollo, sin embargo de encontrarse, generalmente presentan colores claros (Epipedon ocrico), u oscuros (Epipedon Umbrico); la profundidad varia de profundos a muy superficiales, relieve plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.

**Inceptisol:** los suelo inceptisoles presentan una pobre distribución en el área; estos suelos están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son suelos superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada. Presentan un desarrollo reciente, con un epipedon molico sobre un estrato de cenizas o piroclastos fuertemente meteorizados por la acción del clima y los procesos de transformación, cuyo predominio mineralógico lo constituyen por vidrios volcánicos. Estos suelos se distribuyen en el pie de la cordillera volcánica y la planicie, presentando texturas que varían de franco-arenosos a arenosos-francos, el drenaje natural interno de estos suelos, varía de muy pobre a bien drenados y el nivel freático de muy superficial a muy profundos, con inundaciones ocasionales o prolongadas durante las épocas lluviosas.



**Figura 4.** Taxonomía de suelo del área de estudio, (MAGFOR, 1987)

### **1.6.5 Geomorfología**

La zona de estudio se encuentra ubicada sobre la provincia geomorfológica denominada la Depresión Nicaragüense. Esta se encuentra limitada por dos sistemas de fallas de rumbo NO-SE y su origen está relacionado a la actividad volcánica reciente, a la fosa mesoamericana y al movimiento de las placas de Coco y del Caribe. Las fallas pertenecen al sistema centroamericano, que se extiende desde Guatemala hasta Costa Rica (Fenzl, 1989).

A nivel regional, el área de estudio se localiza sobre el graben de Managua, que de acuerdo con Girad y van Wyk (2004), es la estructura tectónica más activa de la depresión Nicaragüense. Las principales fallas se encuentran orientadas con dirección norte (N) y noreste (NE). Si bien es llamado graben, este solo es limitado parcialmente por un escarpe de falla normal. La falla de Punta Huete, localizada al costado noroeste (NO) y la falla Cofradías sobre el costado este (E) son unas de las evidencias con escarpes que alcanza más de 100 m de elevación. El costado oeste de la cuenca es delimitado por la falla Nejapa, a través de las cuales existe un alineamiento de conos de cenizas basálticas, cráteres y la falla Mateare, el escarpe de falla más grande de Nicaragua.

Las elevaciones oscilan desde los 40 m.s.n.m. sobre las costas del Lago de Managua, hasta elevaciones por encima de los 900 m.s.n.m. sobre el escarpe de falla Mateare, al suroeste de la ciudad capital Managua y hacia la parte sur del área en el sector del Crucero.

Entre las principales morfoestructuras identificadas a nivel regional, citadas por Martínez (2012), se encuentran cráteres y maeres localizados sobre la falla Nejapa, así como, el escarpe de falla de Mateare. Cabe destacar la presencia de calderas antiguas tales como la caldera Estrella, ubicada al sur del área de estudio. No obstante, las morfoestructuras más representativas dentro del área de estudio la

conforma el cráter Tiscapa, el cual, alberga en su interior una laguna, de igual forma se presentan la Laguna Asososca y la Laguna Nejapa.

Se recurrió al algoritmo denominado Multi-resolución del Fondo del Valle (MRVBF por sus siglas en inglés), elaborado a partir del DEM ALOS PALSER, con resolución de 12.5 m para discriminar espacialmente las diferentes estructuras morfológicas locales.

En figura 5 se puede apreciar que el área de estudio presenta zonas con grandes elevaciones denominadas crestas, estas ubicadas en la parte sur del área de estudio, la parte central se caracteriza por presentar laderas escarpadas y laderas con pendientes que van desde suaves, hasta pendientes medias. La parte noreste del área de estudio se caracteriza por presentar las menores elevaciones, dándose un comportamiento del terreno bastante plano, en estos se pueden encontrar posibles coluviales, posibles aluviales y llanuras con depósitos aluviales.

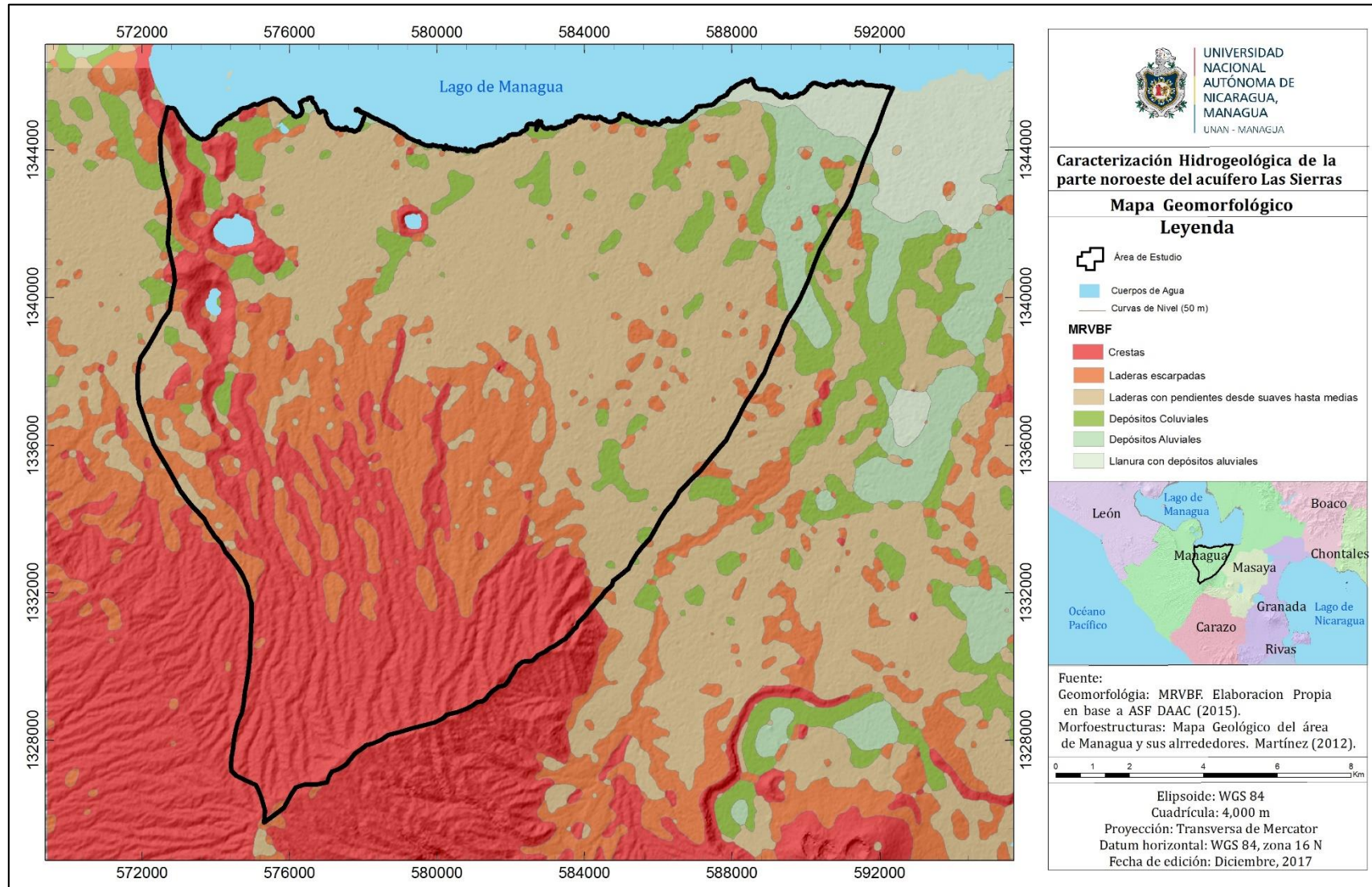


Figura 5. Mapa geomorfológico del área de estudio, (elaboración propia a partir de ASF DAAC. 2015).

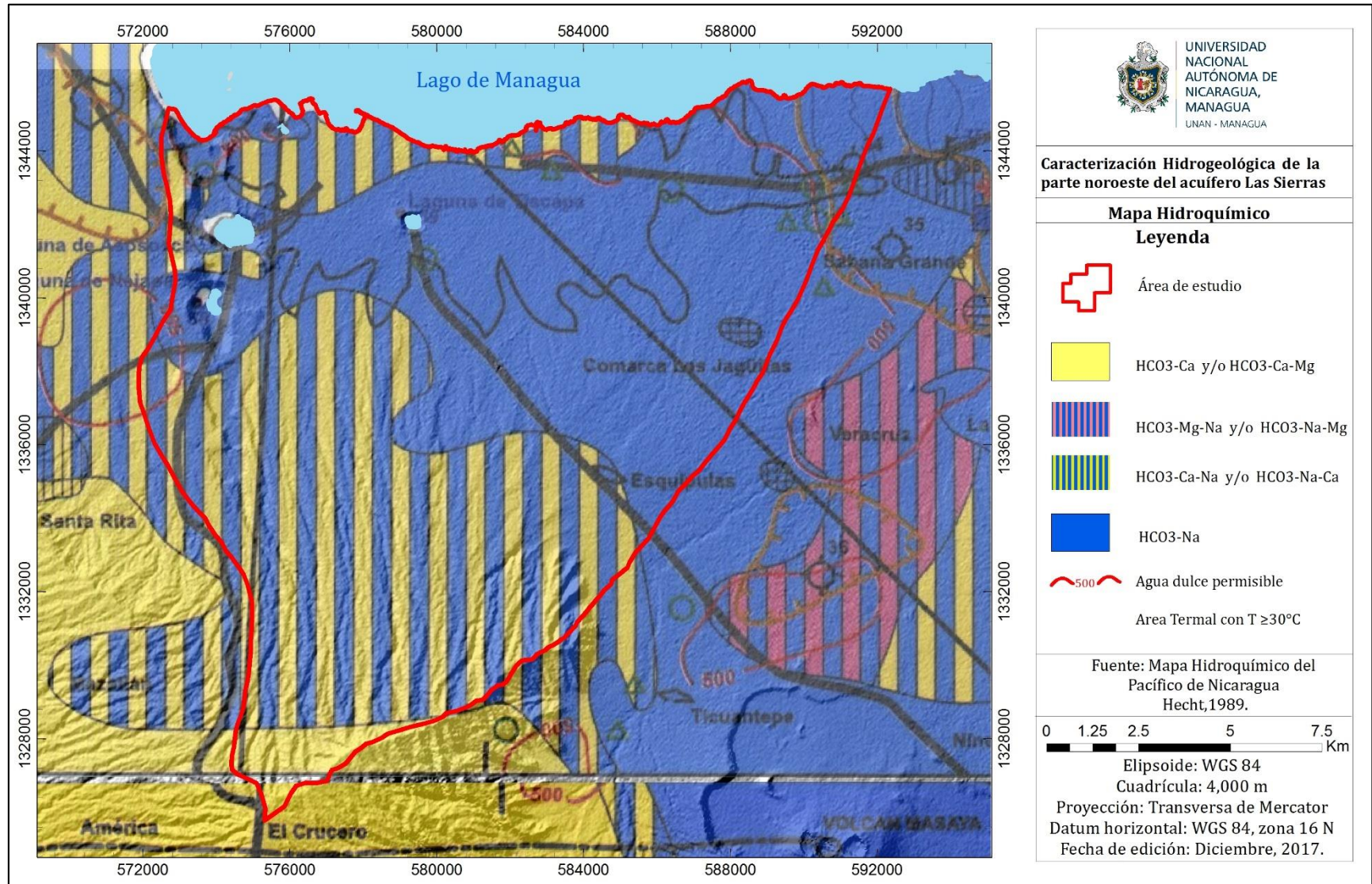
### 1.6.6 Contexto hidroquímico.

Los solutos contenidos en el agua natural representan una cadena de efectos de una serie de reacciones químicas que han disuelto el material de otra fase, y ha alterado previamente los componentes disueltos, o han sido eliminados de ellos debido a la disolución por precipitación u otros procesos. Los procesos químicos están fuertemente influenciados por la actividad biológica en algunos ambientes y por un gran número de procesos físicos de orden natural (Hem, s.f.).

Se recurrió al estudio de Kránsy y Hecht (1998) denominado “Estudio hidrogeológico e hidroquímico de la región del Pacífico de Nicaragua”, el cual clasifica las aguas de acuerdo a las facies hidroquímica predominante.

De acuerdo con los anteriores autores, en el área de estudio se identifican dos tipos hidroquímicos, estas son, Bicarbonatadas Sódicas ( $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ ), Bicarbonatadas Cálcicas – Sódicas y/o Bicarbonatadas Sódicas – Cálcicas ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  y/o  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ ). Estas se presentan de forma muy similar con respecto al área que abarcan cada una de ellas, ya que de los 240.6 km<sup>2</sup> que abarca el área de estudio, el 51% (123 km<sup>2</sup>) es ocupado por las aguas de tipo Bicarbonatadas Cálcicas – Sódicas y/o Bicarbonatadas Sódicas–Cálcicas ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  y/o  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ ), mientras que las Bicarbonatadas Sódicas ( $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ ) ocupan el 49% (117 km<sup>2</sup>) restante, (Figura 6).





**Figura 6.** Mapa Hidroquímico presentado por Krasny y Hecht, (1998).

### **1.6.7 Amenazas volcánicas y sísmicas.**

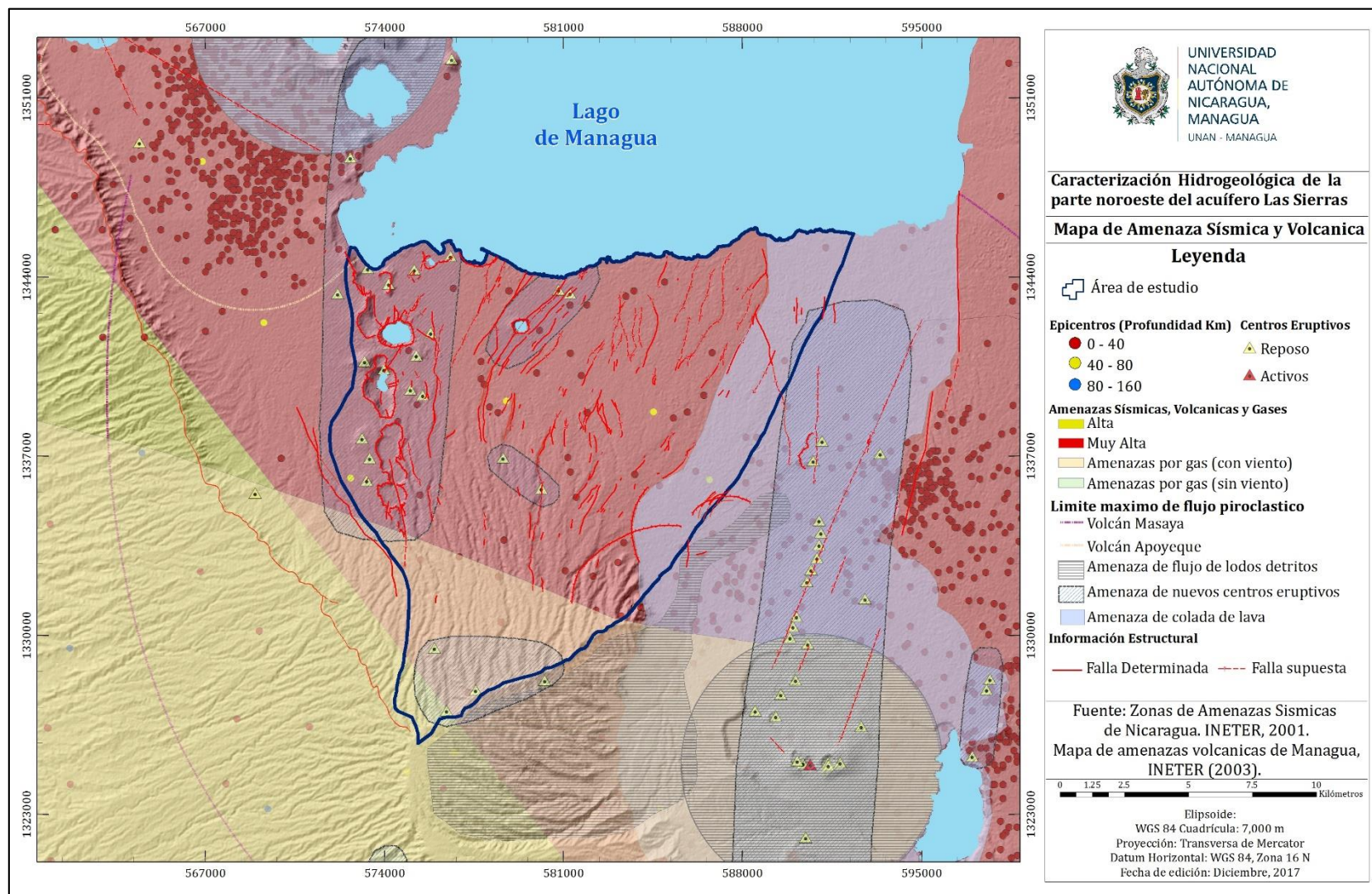
El área de Managua se encuentra en una zona de actividad sísmica activa, esto debido a las condiciones tectónicas y volcánicas que originan estos movimientos, los cuales, no son más que la liberación de energía del sistema, provenientes de fallas superficiales presentes en el área de estudio o de estructuras volcánicas, las que a su vez colindan con la zona estudiada, (INETER, 2001).

Como bien se sabe, el departamento de Managua se localiza dentro del graben que lleva su mismo nombre (guben de Managua) el cual se encuentra limitado por las fallas Mateare y Cofradía las cuales a su vez originaron un sistema 16 fallas comprobadas.

Dicha estructura geológica está cubierta por depósitos volcánicos pertenecientes al Grupo Managua y depósitos de flujos del Holoceno, siendo encontrados en estratificaciones horizontales y en ocasiones con estratificaciones cruzadas Moore 1991 Citado por (Obando 2009), estos depósitos por su naturaleza poco consolidado presentan una amplificación mayor a la de las rocas consolidadas favoreciendo la intensidad con la que se presentan los sismos.

El área de estudio se encuentra en la zona de amenaza sísmica muy alta, con sismos de poca profundidad que van desde 0-40 km, estos son originados por la actividad volcánica y fallamiento local, (Figura 7); Las principales amenazas de origen volcánicas son ocasionadas por los centros volcánicos presentes en los extremos del área de estudio, por la parte norte se presenta el Volcán Momotombo , el cual, en los últimos años ha incrementado su actividad, generando un sinnúmero de sismos y expulsiones consecutivas de gases, cenizas, piroclastos.

En la parte sur del área de estudio se encuentra el Volcán Masaya, constantemente en actividad volcánica, generando enormes columnas de humo, emanando gases y cenizas.



**Figura 7.** Mapa de amenaza sísmica y volcánica del área de estudio, (INETER 2001).

### **1.6.8 Amenaza por inundación**

Las inundaciones son eventos asociados a diferentes fenómenos meteorológicos como depresiones, tormentas tropicales, huracanas y altas precipitaciones. (INETER 2003)

El área estudiada se encuentra en una zona de relieve bastante variable que van desde grandes elevaciones sobre el nivel del mar, hasta elevaciones relativamente bajas las que condicionan a que en superficie se logren notar terrenos extremadamente planos, lo cuales, pueden favorecer las inundaciones locales, según INETER (2003) en el extremo norte del área de estudio se presentan zonas las cuales están clasificadas como zonas de amenazas altas de inundación, esto se debe a que el extremo norte del área limita con las costas del lago de Managua, por lo tanto esta propenso a inundaciones durante la temporada de invierno.

Sin embargo también existen otras áreas propensas a inundaciones en la parte media-baja del área de estudio, estas áreas presentadas por INETER (2003) fueron delimitadas a partir de afectaciones dadas históricamente en dichas áreas, estas a su vez están asociadas a la presencia de causas por los que drenan las aguas pluviales durante la época de invierno provenientes desde las partes altas, afectando en gran manera a la población asentada en la parte media baja de la ciudad, siendo esta donde se da la mayor concentración de habitantes. Siendo los más afectados, ya que debido a la intensidad de las precipitaciones y la velocidad de la escorrentía, ocasionan el desborde de dichos causes poniendo en peligro los habitantes aledaños a los mismos.

En la figura 8 se presentan los tipos de amenaza ocasionadas por inundaciones dichas amenazas fueron clasificadas en un rango que van de amenazas bajas, medias, hasta altas. En la misma figura se logra apreciar que las amenazas presentadas dentro del área de estudio, todas son presentadas como amenazas de tipo altas, esto se debe a lo mencionado anteriormente, la gran cantidad de causas por los que drenan las aguas pluviales y la cercanía al Lago de Managua.

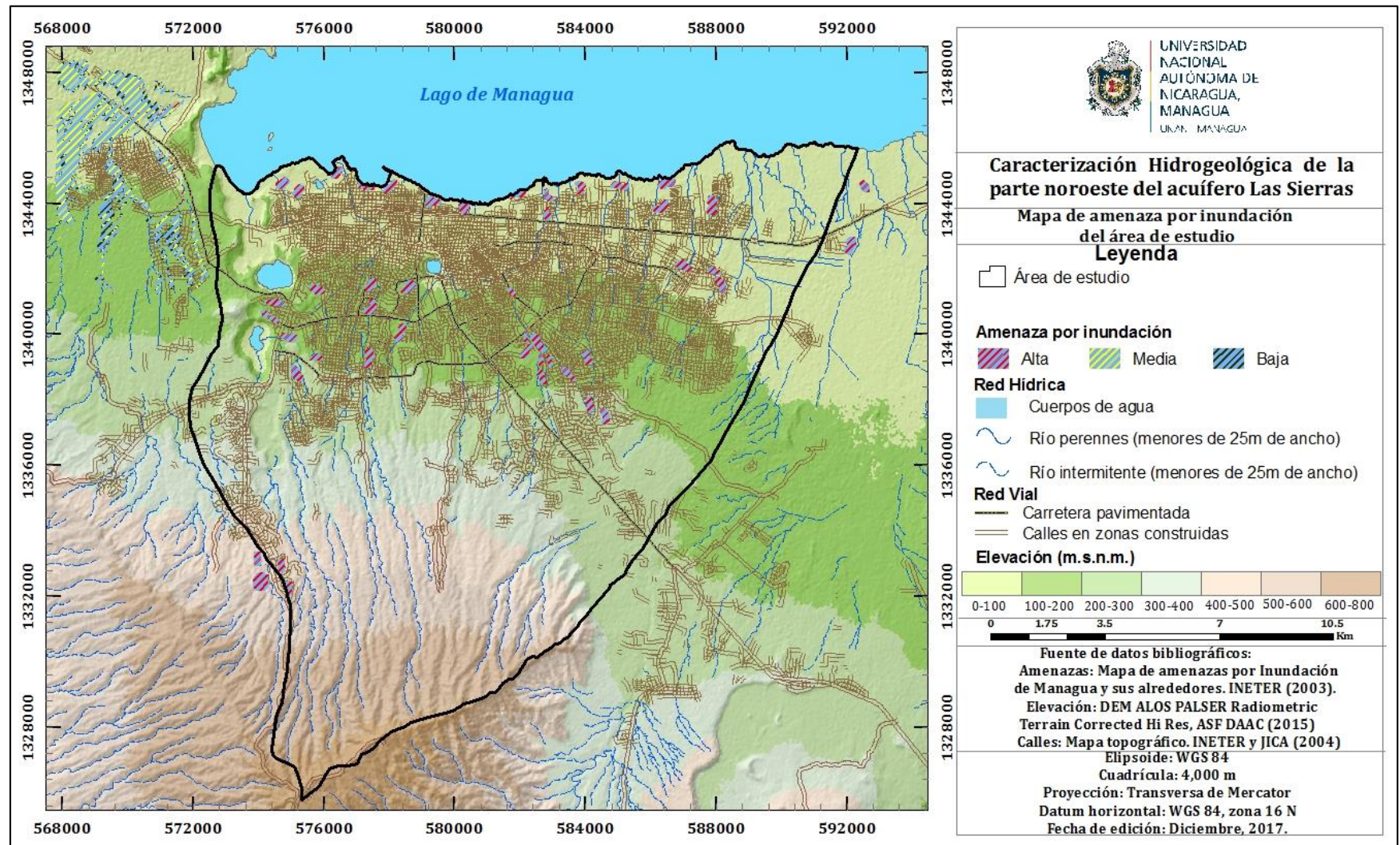


Figura 8. Mapa de amenaza por inundación en el área de estudio, (INETER 2003).

## **CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO.**

### **2.1. Enfoque.**

La investigación realizada presenta un enfoque mixto en la cual se analizaron variables cualitativas y cuantitativas, se interpretaron datos precisos y puntuales los cuales son objetivos y confiables, por otra parte las diferentes metodologías empleadas en la investigación son validadas y aceptadas por la comunidad científica internacional. Las variables evaluadas sirvieron de instrumento para la caracterización hidrogeológica, por ende se presentan mapas diagramas y modelos conceptuados de la realidad.

Por otro lado en nuestra investigación presenta un carácter cualitativo ya que se presentan datos que involucran información precedente del área de estudio la cual fue utilizada para evaluar los parámetros presentados y concluir su influencia en el acuífero del área estudiada, esta información corresponde a clima, geomorfología y geología.

### **2.2. Tipo de Investigación**

La presente investigación es del tipo explicativa, a través de la misma se intenta explicar los diferentes fenómenos que ocurren en el medio geológico e hidrogeológico, ya sea que estos favorezcan o desfavorezcan la disponibilidad del recurso en el acuífero, esto se realizó por medio de procesos experimentales de mediciones directas realizadas en campo.

### **2.3. Universo o población.**

El universo de la presente investigación corresponde al área delimitada la cual abarca una extensión de 241 km<sup>2</sup> de los 1058 km<sup>2</sup> que se extiende el acuífero Las Sierras (22.7%), para esta área se realizó una caracterización hidrogeológica, tomando en cuenta sus características tales como geología, geomorfología, suelo y clima.

## **2.4. Muestra.**

La muestra de la investigación pertenece a los diferentes sitios donde se realizaron los experimentos de campo tales como pruebas de infiltración, ensayos de bombeo, medición de niveles de agua subterránea y muestreo de aguas, estos sitios se eligieron en base a características propias de la zona de estudio de manera tal que los datos recopilados fuesen representativos del área de estudio sin afectar los alcances de la investigación.

## **2.5. Métodos.**

### **2.5.1 Recopilación de información.**

La investigación inició con la recopilación de información de estudios realizados por distintas instituciones como, (INETER). Estos relacionados con el tema de investigación; con el fin de realizar una selección, valoración y evaluación de la información; además se utilizaron mapas topográficos de Managua y el mapa hidrogeológico proporcionado por: Krasny 1989.

Esta etapa sirvió para planificar la forma más viable para la realización de los trabajos de campo, definir la forma en que se monitorearon los niveles de aguas subterráneas en los pozos, fundamentar en base a que se delimito el área de estudio, definir los puntos de ubicación para la realización de las pruebas de infiltración.

Una vez recopilada y analizada la información existente, se realizó una depuración de información preliminar la cual se digitalizó e incluyó en un SIG, (Sistema de Información Geográfica), la cual se procesó en el software Arcgis 10.2, tomando en cuenta los factores climáticos, geología, geomorfología, hidrología, hidrogeología, edafología y el trabajo de campo.

### **2.5.2 Caracterización física del área de estudio.**

Se realizó una caracterización física del área de estudio en la cual se aborda el clima utilizando los datos meteorológicos recopilados por INETER de las estaciones

presentes en la zona (Ver anexo de datos climáticos), en ella se abordan las variables climáticas de precipitación, temperatura de las cuales se presentan las medias mensuales y anuales, en tanto la evapotranspiración se calculó por medio de la ecuación de Hargreaves; las características geológicas locales de la zona estudiada se hizo en base a trabajos previos realizados por diferentes autores.

### 2.5.3 Método de Hantush para determinar transmisividad.

El método de Hantush es utilizado cuando el esquema general existe un acuífero bien alimentado, particularmente en zonas de descarga donde las Transmisividad tienden a presentar valores elevados, dichos acuíferos se caracterizan por presentar un paquete semipermeable y debajo de estos presentar acuíferos semiconfinados en los que se cumplen algunas condiciones como son: que el acuífero superior se presente bien alimentado, que el acuífero superior no seda agua a través del pozo, el acuífero se presente enrejillado.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores y que el régimen es variable mediante la resolución de la ecuación se llega a la fórmula denominada fórmula de Hantush:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, \beta)$$

Donde:

**T:** Transmisividad (m<sup>2</sup>/día).

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/d).

**s:** Abatimiento (m).

**W(u,β):** Función teórica de pozos.



### 2.5.3 Formula de Jacob para determinar transmisividad.

El método de Jacob es una particularización del método de Theis, cuando la función de pozo  $W(u)$  puede desarrollarse en serie, cuando las circunstancias del ensayo reúnen determinadas condiciones. Jacob consideró que cuando la variable auxiliar era menor que 0.03 podían despreciarse todos los términos del desarrollo, consecuentemente.

Para utilizar este método se tiene que dibujar una línea de tendencia (pendiente) de las variaciones de los niveles de agua durante la prueba de bombeo en un gráfico semilogaritmico, situando en el eje "x" el tiempo (escala logarítmica) y en el eje "y" los niveles medidos durante el desarrollo del ensayo de bombeo, una vez trazada la línea de tendencia se proyecta la diferencia de nivel ( $\Delta s$ ) y se aplica la siguiente formula  $T = 0.184 Q / \Delta s$ . Conviene mencionar que las unidades de trabajo deben ser homogéneas, es decir para obtener la transmisividad en  $m^2/d$ , el caudal se debe de ingresar en la ecuación en  $m^3/d$  y el  $\Delta s$  en metros.

### 2.5.4 Evapotranspiración por el método de Hargreaves.

El término de evapotranspiración se utiliza para englobar tanto el proceso físico de pérdida de agua por evaporación como el proceso de evaporación del agua absorbida por las plantas (transpiración). Las unidades usuales son las de mm/día ó mm/mes, Thornthwaite definió la evapotranspiración potencial como el máximo de evapotranspiración que depende únicamente del clima. Según Thornthwaite no hay ninguna restricción de agua en el suelo y su magnitud depende exclusivamente del clima, para su evaluación no se definió la superficie evaporante.

Hargreaves desarrollo la siguiente fórmula matemática para el cálculo de la evapotranspiración potencial

$$ETP = 0.0023 * (t_{med} + 17.78) * R_o * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Donde,  $t_{med}$ : Temperatura media,

$R_o$ : Radiación solar Extraterrestre

tmax: Temperatura máxima absoluta

tmin: Temperatura mínima absoluta

Para el desarrollo de la fórmula es necesario contar con los datos de temperatura mínima, media y máxima absoluta, además de ello se considera la radiación solar la cual varía en dependencia de la latitud norte donde se ubica el área donde se aplica el método

#### **2.5.5 Polígonos de Thiessen.**

Se delimitaron polígonos de Thiessen en el área de estudio para determinar la distribución espacial de las precipitaciones en el área, la cual está estrictamente relacionada con la recarga del acuífero producto de las precipitaciones en la zona.

Los polígonos de Thiessen nombrados en honor al meteorólogo estadounidense Alfred H. Thiessen son una construcción geométrica que permite construir una partición del plano euclídeo. Estos objetos también fueron estudiados por el matemático Georgy Voronoi de donde toma el nombre alternativo de diagramas de Voronoi y por el matemático Gustav Lejeune Dirichlet de donde toma el nombre de teselación de Dirichlet.

Los polígonos de Thiessen son uno de los métodos de interpolación más simples, basado en la distancia euclidiana, siendo especialmente apropiada cuando los datos son cualitativos. Se crean al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control (estaciones meteorológicas), de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia.

### **2.5.6 Balance Hídrico de suelo (Schosinsky 2007).**

Para cuantificar la recarga local del acuífero en el área de estudio se utilizó el método de Schosinsky, basada en el balance hídrico de suelo donde se consideran las variables que influyen en la recarga de acuíferos tales como: precipitación, coeficiente de infiltración, evapotranspiración, retención pluvial, pendiente, cobertura vegetal, profundidad de raíces y textura de suelo, para obtener finalmente el volumen total del aporte anual de las precipitaciones al acuífero en el área de estudio.

### **2.5.7 Pruebas de bombeo.**

Para evaluar los parámetros hidráulicos del acuífero en el área delimitada para la investigación se realizaron 6 ensayos de bombeo, como resultado de los mismos se obtuvieron los parámetros hidráulicos de acuífero de Transmisividad, permeabilidad o conductividad hidráulica y capacidad específica.

Para obtener las propiedades hidrogeológicas de un acuífero suelen utilizarse los pozos como puntos de control del comportamiento del medio geológico, esto requiere de un arduo trabajo el cual empieza midiendo el nivel inicial del agua (NEA) antes de empezar a operar el pozo y recopilando los datos técnicos del pozo, tales como: profundidad del pozo, columna de agua, capacidad de equipo de bombeo y sobre todo garantizar un bombeo ininterrumpido de al menos 24 horas a un caudal constante.

Una vez se tienen todas las condiciones de operaciones el bombeo es puesto en marcha y se lleva un registro continuo de los niveles de agua (nivel dinámico), el cual empieza con intervalos cortos de algunos minutos y culmina en lapsos hasta de 1-2 horas a medida que el bombeo se estabiliza (estas consideraciones se hacen de acuerdo al comportamiento del régimen de bombeo lo cual varía particularmente en cada pozo), las mediciones se realizan con una sonda de medir nivel graduada en unidades métricas la cual está provista de un sensor el cual al hacer contacto con la lámina de agua se activa una señal lumínica y sonora.

### **2.5.8 Normas CAPRE Para calidad de aguas.**

Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Es un organismo Técnico Regional encargado de dictar Normas Técnicas de control de calidad en materias de aguas potable y saneamiento entre los países miembros y afiliados, estableciendo la Norma Regional de Calidad de Agua para Consumo Humano.

El objetivo de esta Norma de Calidad de Agua de Consumo Humano es proteger la salud pública y por consiguiente, ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de las comunidades e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua.

### **2.5.9 Normas NTON-09 003-99 para Calidad de aguas.**

Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses. Las presentes Normas de Calidad de Agua para el consumo humano han sido adoptados de la Norma Regional de Calidad del Agua para el Consumo Humano, por medio de la preservación de la Calidad del Agua, para proteger la calidad de la misma, en las que se debe prever las condiciones presentes y futuras, para evitar la contaminación de fuentes de agua, por medio de contaminantes de tipo, doméstico, agrícola, industrial, o de cualquier otro índole.

Dichas normas presentan las concentraciones máximas permisibles de los parámetros que indican la calidad del agua, desde el punto de vista químico como bacteriológico.

### **2.5.10 Easy-Quim. (Diagrama de PIPER).**

Fue presentado por el grupo de hidrología subterránea del departamento de ingeniería civil y ambiental de la universidad politécnica de Cataluña (UPC). El cual, trabaja en la caracterización de medios permeables a través de datos hidráulicos,

hidroquímicos e isotópicos ambientales. En este se presentan cálculos de balances químicos en análisis de agua y su representación gráfica (diagrama de PIPER).

El diagrama de PIPER se representa por diagramas triangulares que se utilizan para representar la porción de tres componentes en la composición de un conjunto de una sustancia. La suma de los tres componentes debe representar el 100% de la composición de lo que se considera; en hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones.

## **2.6. Instrumentos.**

### **2.6.1 Permeámetro de Guelph.**

Para medir la velocidad de infiltración del agua en el suelo se utilizó el permeámetro de Guelph. El método consiste en excavar un agujero cilíndrico de radio a profundidad constante, en el cual se realizan ensayos de infiltración manteniendo la altura del agua dentro del agujero, lo que permite obtener coeficiente de infiltración ( $K_{fc}$ ) a partir de la relación entre el caudal de infiltración y el nivel del agua en el agujero, (Foto 1).

El permeámetro de Guelph consta básicamente de dos tubos, uno que actúa como depósito de agua y otro de menores dimensiones que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener la carga hidráulica constante, (tubo Mariotte), por lo tanto, el nivel del agua del agujero será igual a la posición del extremo inferior del tubo Mariotte.

El permeámetro debe su nombre a la Universidad de Guelph donde los investigadores Reynolds y Elrick en 1985 idearon el instrumento; fueron ellos mismos quienes desarrollaron la fórmula para determinar la infiltración considerando un régimen estacionario, mediante la siguiente ecuación:  $K_{fc} = 60 (D_p^2 / (D_o^2 + 4D_oH^2)) * Q$ .



**Foto 1.** Realizando prueba de infiltración de suelo con el permeámetro de Guelph.

### **2.6.2 Sonda de medir nivel de agua.**

El equipo consiste en una cuerda graduada en metros, la cual posee en el extremo de la misma un sensor, este al hacer contacto con el agua emite una señal lumínica y sonora, lo que es indicativo que el extremo inferior ha alcanzado hacer contacto con la lámina de agua del pozo que está siendo medido, (Foto 2).



**Foto 2.** Sonda para medir nivel estático del agua en un pozo perforado monitoreado en el área de estudio.

### 2.6.3 GPS de Mano

El sistema de posicionamiento global mejor conocido como GPS por sus siglas en inglés, permite determinar un punto la posición de un objeto en la tierra, en este caso se utilizó un dispositivo marca Garmin modelo 62st con precisión de +/- 3m para localizar los pozos inventariados (Foto 3), las puntos donde se realizaron las pruebas de infiltración y la ubicación de las gasolineras, las coordenadas se tomaron en el sistema de coordenadas UTM WGS-84.



**Foto 3.** GPS utilizado para levantar las coordenadas en campo.

## **CAPITULO III. GEOLOGIA REGIONAL DE CENTROAMERICA.**

### **3.1. Tectónica.**

América central se localiza en la placa caribe entre las placas de Norteamérica y Sudamérica, las cuales involucran el movimiento de las placas Cocos y Nazca (Case et al., 1984). Nicaragua se localiza a lo largo del borde oeste de la placa Caribe, sus límites actuales están definidos por la distribución de la actividad sísmica (Molnar y Sykes, 1969). El límite de la placa Caribe se desarrolló debido a la posición relativa de Norte y Sudamérica después del rompimiento de Pangea en el Triásico-Jurásico tardío. En la mayoría de las reconstrucciones de Pangea, el área ocupada actualmente por la placa Caribe fue ocupada por norte y Sudamérica, (bullard et. Al..., 1965).

Ducan y Hargraves, (1984) presentaron un modelo para la evolución del Caribe, en donde el núcleo de la capa fue formado a partir de la efusión de la lava sobre la placa fallaron mientras estas se movía hacia el este por encima del hot spot de las islas Galápagos. Hace aproximadamente 80 Ma, cuando el espacio entre el Norte y Sudamérica era suficientemente grande, la placa Caribe se incorporó dentro del espacio que se estaba abriendo.

En América central, el límite oeste de la placa Caribe está definido por la fosa mesoamericana donde ocurre la subducción entre la placa de Cocos y Caribe, la cual tiene una profundidad de 4 a 5 km, (Case et al, 1984) y aproximadamente se extienden a 130 km de la costa del pacífico de América Central, desde México hasta Costa Rica (Peraldo y Montero, 1999).

La dirección de la subducción de la placa Cocos por debajo del margen pacífico de la placa Caribe, es ligeramente oblicua respecto a límite de placa que subduce con una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 y 220 km, (Burbach, 1984).



Las velocidades estimadas de subducción varían de 70 a 80 mm/año, (Frischutter, 2002). Como consecuencia de esta subducción se origina la depresión de Nicaragua, definida por una zona alargada y paralela a la fosa Mesoamericana. Según algunos autores, (McBirney y Williams, 1965; Dengo, 1969) esta depresión empezó a formarse a finales del cenozoico, producto de los esfuerzos de tensión local que actúan en la cresta de un geoanticlinal, como consecuencia de la compresión regional que existe sobre la Fosa Mesoamericana. A finales del plioceno, en el extremo noroeste de la depresión, inicia el vulcanismo que dió origen a la Cadena Volcánica de América Central, cuya porción nicaragüense se extiende desde el volcán Cosiguina en el norte, hasta el volcán Maderas en el sur.

El material fundido de la placa de Cocos asciende casi verticalmente penetrando la Placa Caribe, formando así la Cadena Volcánica nicaragüense, a lo largo de una línea casi recta y paralela con una distancia promedio de 200 km de la Fosa Mesoamericana, (Molnar, P & Sykes, L. R., 1969).

América central puede dividirse en cuatro grandes bloques estructurales, denominados: Maya, Chortis, Chorotega y Choco, (Dengo, 1969; 1973; Escálante 1990). Los cuales se caracterizan por su diferente naturaleza tanto oceánica como continental y están ubicados de la siguiente manera:

El bloque Chortis está definido desde la parte sur de Guatemala, Honduras, la parte norte y occidental de Nicaragua. Este bloque tiene una corteza de tipo continental y está separado del bloque Maya por el sistema de fallas Motagua-Polochic. Por el sur está separado del bloque Chorotega por el accidente de Hess, (Di Marco, 1995). En la parte norte el bloque Maya y Chortis, presentan una naturaleza continental, los cuales se considera que estaban ligados a la parte occidental de la Placa de Norteamérica y que se movieron gradualmente hasta ocupar la posición actual como parte de la Placa Caribe.

El bloque Chorotega es de origen oceánico, abarca la mayor parte de istmo Centroamericano, incluyendo la parte sudoriental de Nicaragua, que durante el Cretácico-Paleoceno tardío formaba el borde occidental de la Placa Caribe por lo que se supone que es el resultado de la actividad volcánica relacionada a la subducción de la placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe. Las estructuras que limitan este bloque son poco conocidas, (Figura 9).

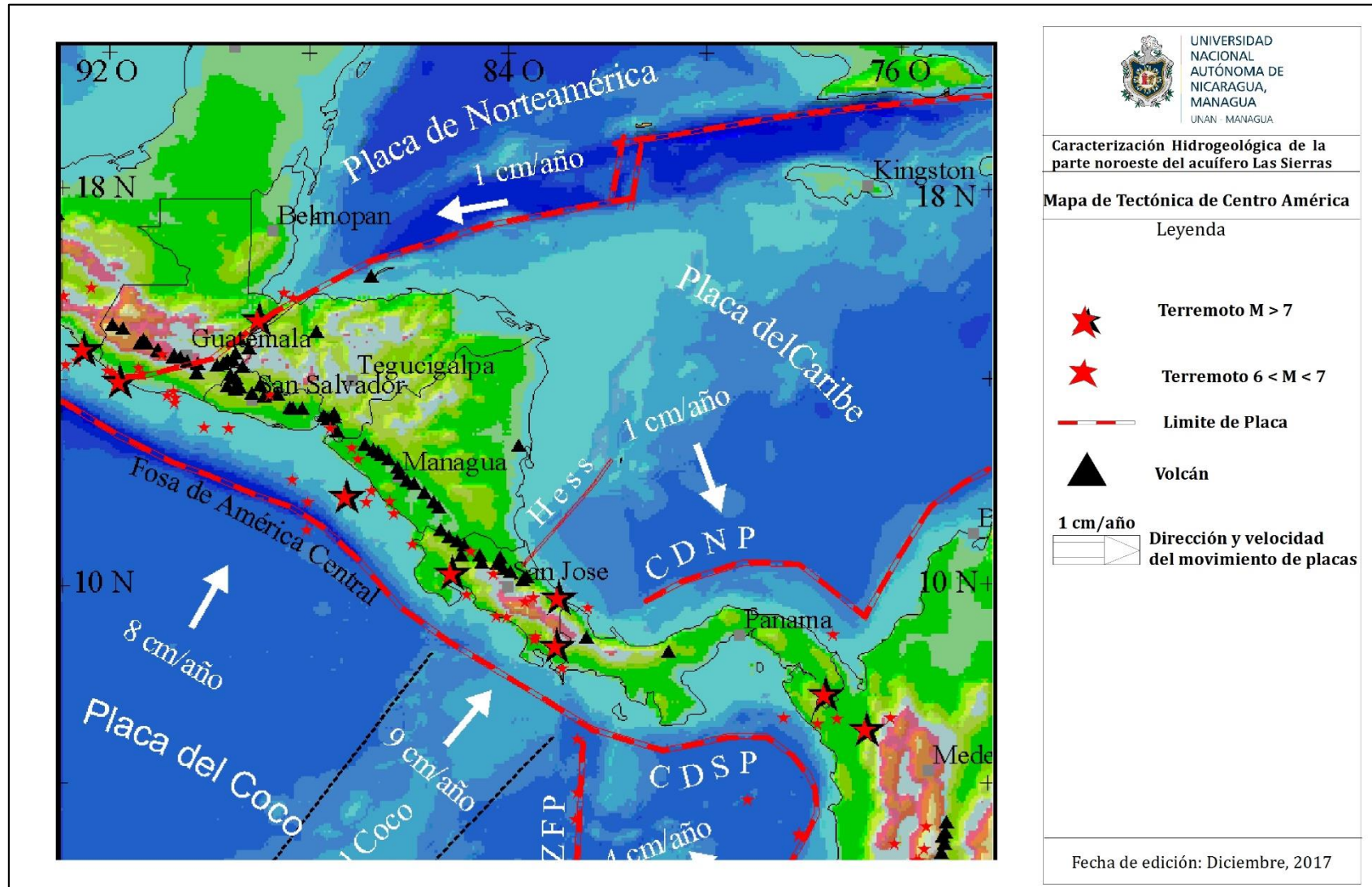


Figura 9. Mapa de tectónica regional.

### **3.2. Geología de Nicaragua.**

Nicaragua está dividida en cinco provincias geológicas y fisiográficamente importantes que son: Planicie Costera del Pacífico, Depresión de Nicaragua, Meseta Central, Tierras Altas del Norte y la Planicie Costera del Atlántico, (McBirney y Williams, 1965; Hodson, 1978), estas provincias se describen a continuación:

Planicie Costera del Pacífico: constituye una estrecha franja de terrenos paralelos a las costas del pacífico, con un ancho inferior a los 30 km. Desde el punto de vista geológico estos terrenos están formados por sucesiones de sedimentos marinos poco profundos como: detritos y rocas volcanoclasticas con intercalaciones de lava, con rango de edad desde el Cretácico tardío al mioceno, (Parsons Corporation, 1972). Estas rocas se organizan básicamente en cinco formaciones geológicas como: Formación Rivas (Cretácico Superior), Formación Brito (Eoceno), Formación Masachapa (oligoceno), Formación El Fraile y Tamarindo (Mioceno) y formación El Salto (Plioceno).

Meseta Central: caracterizada por la presencia de rocas volcánicas del Terciario y Cretácico, compuestas por extensos depósitos piroclásticos y lavas de composición basáltica y dacítica.

Tierras Altas del Norte: Comprende las rocas más antiguas del norte y centro de Nicaragua. Está caracterizada por unidades de rocas de edad Paleozoica a Mesozoica, las que han experimentado deformaciones acompañadas por metamorfismo regional y constituyen en el basamento metamórfico y de rocas plutónicas de Nueva Segovia.

Planicie Costera del Atlántico: localizada a lo largo de la línea costera y llanos de la Costa Atlántica. Está compuesta de rocas sedimentarias del Pleistoceno y aluviales recientes, las cuales sobreyacen a rocas sedimentarias del Terciario.

Depresión Nicaragüense: Comprendida dentro de la fosa tectónica nicaragüense, con 70 km de ancho y 300 km de longitud, con dirección NO-SE. Atraviesa el territorio nicaragüense en el sector occidental, paralelo a la costa del pacífico y a la fosa Mesoamericana. Esta provincia engloba sucesiones de rocas y materiales lacustres (Woodward-Clyde, 1975), que se subdividen en dos grandes grupos: El Grupo Las Sierras del Pleistoceno constituido por ignimbritas y el Grupo Managua del Cuaternario, compuesto por depósitos piroclásticos poco consolidados.

En Nicaragua se presenta la cadena volcánica Nicaragüense y se dio la formación del Graben de Managua, en el cual se ubica el municipio de Managua. Este graben es considerado como una zona estructural extensional e interpretada como un “*Pull Apart*” (Girard et al., 2005). Esta zona de relevo (Espinoza, 2007), presenta una configuración limitada por fallas normales con tendencia norte-sur, razón por lo que se ha considerado, como Graben de Managua. Este graben, está limitado por las siguientes fallas activas: La Falla Cofradía al este, con una orientación norte-noreste; la Falla Nejapa al oeste, de orientación noroeste-sureste y el escarpe de Mateare, de tendencia norte-noroeste. El límite norte está conformado por el lago Xolotlán y al sur por el Complejo Volcánico Las Sierras-Masaya (Frischbutter, 2002; Girard et al., 2005), (Figura 10).

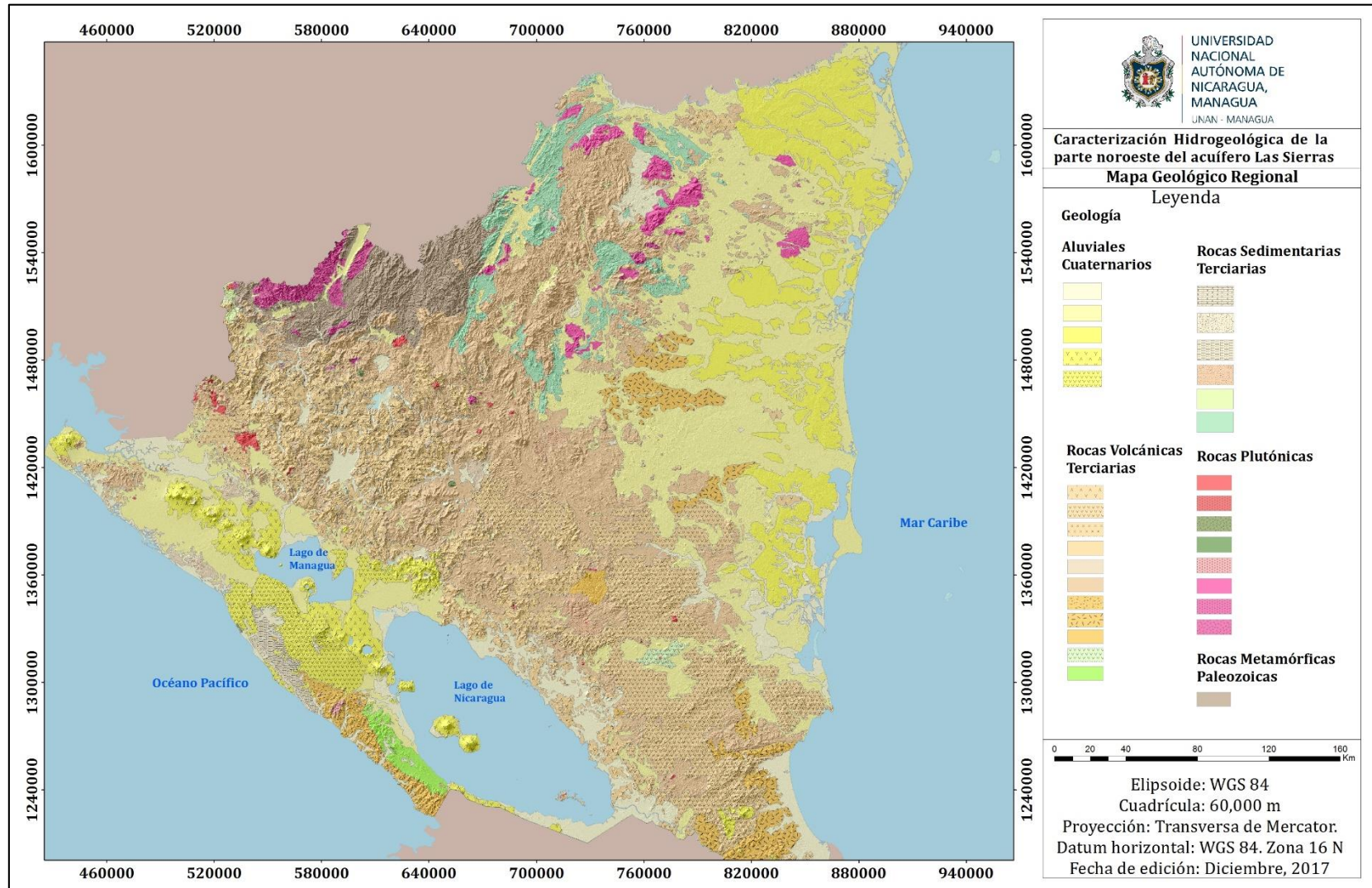


Figura 10. Mapa geológico de Nicaragua, (Mapa geológico minero, INETER 1995)

### 3.3. Geología Local.

La ciudad de Managua, se encuentra entre la península Chiltepe al NO, la caldera Masaya al SE y en el extremo O de la falla Nejapa con dirección norte sur. Según Bice (1985), la secuencia estratigráfica de la ciudad de Managua está controlada por los depósitos provenientes de las estructuras antes mencionadas. La caldera Apoyo es una estructura formada hace 24 mil años, produciendo dos erupciones plinianas obteniendo la tefra, Apoyo Superior e Inferior (Kutterolf et al., 2007).

La caldera Masaya ha generado depósitos como la triple capa Masaya, de dispersión pliniana y la toba Masaya resultado de un gran depósito de oleada de origen freatomagmatico (Bice, 1985). El complejo volcánico Chiltepe está conformado por un estrato volcán llamado Apoyeque, numerosos conos de escorias, anillos de toba y un maar denominado xiloá (Freundt et al., 2006). El volcán Apoyeque generó el depósito de la tefra Apoyeque superior e inferior como resultado de una erupción pliniana y el maar Xiloá generó depósitos de caída y de oleadas piroclásticas como consecuencia de una erupción freatomagmatica (Bice, 1985).

Tomando en cuenta el origen de los depósitos y su composición química, Kutterolf (2007), agrupó la estratigrafía de la ciudad de Managua, en formaciones, describiéndolas desde la más antigua, Formación Las Sierras, a la más joven, Formación Managua, (Figura 11).

#### **Formación Las Sierras.**

Girard (2005), determinó que la formación de las Sierras es un complejo escudo ignimbrítico y basáltico. Kutterolf (2007) calculó la edad más joven para esta formación en aproximadamente 34 a 30 mil años. Hasta ahora no se ha estudiado la estratigrafía detallada de esta formación, sólo dos depósitos de la parte superior de composición basáltica – andesítica, los cuales son *Tefra Unicit (UT)* (Kutterolf,

2007) y la *Tefra Fontana (FT)* estudiada por Williams (1983) denominándola Fontana Lapilli y Bice (1985), con el nombre de Lapilli Bed, este depósito se encuentra al NO de la caldera Masaya.

### **Abanicos aluviales.**

Son productos de acumulación resultantes de la erosión del Grupo Las Sierras al formarse escarpes de la Falla Mateare y de la Falla Las Nubes. Se puede identificar dos abanicos aluviales independientes superpuestos: uno resultante del escarpe de Mateare (formada con dirección al Noreste) y otro proveniente del escarpe Las Nubes (formada en dirección Noroeste). Estos abanicos cubren la zona Sur de la ciudad de Managua, Moore 1991 Citado por (Obando, 2009).

### **Grupo Managua.**

Es la secuencia geológica más reciente del área de Managua. Su espesor total es menor de los 10 metros en Managua. Consiste en secuencias de depósitos piroclásticos provenientes principalmente de dos grupos de volcanes: Grupo Apoyeque con los volcanes Apoyeque, Jiloá, Chiltepe y otros menores ubicados a unos 15 kilómetros al Noroeste de Managua. Grupo Masaya-Apoyo se localiza a unos 20km al Sureste de la Ciudad.

Los productos provenientes de volcanes ubicados en el área de Managua: Asososca, Nejapa y Tiscapa, se distribuyen en áreas relativamente pequeñas, muy cercana a los aparatos volcánicos. Se describen a continuación secuencia estratigráfica desde el techo a la base del Grupo de Managua. Esta descripción está basada en estudios realizados por Woodward-Clyde (1975).

### **Suelo aluvial del Holoceno.**

Suelo geológicamente reciente. Consiste en arcilla limo-arenosa, limo no consolidado, arena limosa y gravas. Se presentan estratificados horizontalmente y a veces con estratificación cruzada. Su espesor varía de 20 a 60 cm. Moore 1991 Citado por (Obando, 2009).



### **Toba El Retiro.**

Esta es una toba basáltica, depositada por caída aérea, masiva y consolidada. Es de grano fino, gris verdoso a café amarillento. Su espesor va de 50 a 100 cm. (Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hodgson (2000), define esta unidad como depósitos aéreos de ceniza fina basáltica, gris verdoso, compacto que alcanza a constituir una toba masiva ligeramente friable, con espesores entre 20 cm a 2,5 metros con edad entre 2,200 a 3,700 esta unidad esta superpuesta por suelos modernos y aluviones y subyacida por suelos fósil, Apoyeque y flujo de lodo se caracteriza por la presencia de pisolitos, restos de plantas y alta fracturación.

### **Pómez de Xiloá y/o Apoyeque.**

Consiste en tres unidades separadas de pómez blanca; posiblemente proveniente del volcán Apoyeque durante el Holoceno y Pleistoceno Tardío. El material es grueso en la base, gradando a dimensiones de ceniza cerca del techo (Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hogson (2000), destaca tres unidades independientes de pómez blanco procedente del Volcán Apoyeque de edad Holoceno – Pleistoceno. Esta fuente, opina fue reconocida como Pómez de Xiloá por Bice en 1980, con espesor variable entre 0 a 40 cm, cuya edad medida oscila entre 1,000 a 5,000 años, y otros autores valoran datación de 6,600 años

### **Formación San Judas.**

Esta unidad está compuesta de toba consolidada, intercalada con ceniza basáltica suelta y lapilli. Generalmente, consiste de dos delgadas capas de lapilli confinadas en tres capas delgadas de pómez. Su espesor promedio es de 25 a 30 cm (Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hodgson (2000), define esta unidad como una Triple Capa de toba bien endurecidas y friables, separadas por depósitos de lapilli incoherentes (basáltica), cuya edad varía entre 7,000 a 9,000 años, siendo superpuestos por suelos fósiles.

### **Ceniza de Motastepe.**

Consiste en varias unidades individuales de tefra, posiblemente provenientes del grupo de volcanes en el alineamiento Nejapa. Su color es gris claro, partículas de tamaño de ceniza fina a lapilli. Se distribuye a no más de 1 km al Este de los cráteres de Nejapa. Según (Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hodgson (2000), se trata de unidades individuales de ceniza lapilli fina color gris claro, localizado a 1km al Este de la Caldera de Laguna Nejapa.

### **Ceniza de Tiscapa.**

Consiste en capas intercaladas de cenizas y lapillis, pobremente consolidadas, de color gris claro a gris oscuro. Su distribución se restringe a las cercanías del cráter Tiscapa, pero presume que base surges lo hayan distribuido a una distancia de 1km. La base de la unidad se asigna tentativamente al Pleistoceno Tardío.

Por su parte, (Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hodgson (2000), dijo que esta unidad es como una inter-estratificación de capas gruesas a finas de lapilli y cenizas de color claro a gris-oscuro, ligeramente consolidado, superponiendo a suelo fósil por encima de pómez.

### **Grava de Altamira.**

Esta es la única unidad aluvial que se puede identificar y correlacionar de lugar a lugar. Consiste principalmente de canales de gravas por estructuras de corte y relleno. Fue depositada por una serie de corrientes fluyendo en cuencas de drenaje relativamente pequeñas de aproximadamente 1km de ancho y no mayor de 10 a 12 km de largo. Las partículas de grava varían desde arena fina a grava fina.

(Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hogson (2000), menciona que estas se caracterizan por la presencia de arcilla y limo, y sus variaciones desde la base al techo en el depósito gravoso. Aseguró, que esta grava tiene una edad del Pleistoceno ( $\pm$  5,500 años) según dataciones con radiocarbono realizada por la Academia de Ciencias de California (USA) a vestigios antiguos de diente de caballo, tipo *Equus c.f. E. Tau*.

### **Pómez Apoyo.**

Consiste en tres unidades separadas por suelo fósil. Las partículas, en las dos capas superiores, generalmente gradan de fino en la base y techo a grueso (1 a 5 cm) en el centro. La capa inferior presenta una textura uniforme desde su piso a su techo y consiste en arena y fragmento de pómez blanco.

(Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hogson (2000), indicó que el nombre de esta unidad litológica, obedece a la proximidad geográfica, y al incremento de espesor de sus capas al Volcán Apoyo, cuya actividad se remonta hace 21,000 años, siendo los espesores oscilantes entre 0.5 a 1.5 metros.

### **Lapilli Masaya o Formación Fontana de Lapilli.**

Es una de las formaciones más extendida y fácil de reconocer, en el área metropolitana de Managua. Consiste en lapilli basáltico vítreo, color negro, libre de polvo y cenizas.

(Woodward-Clyde, 1973), Citado por Hodgson (2000), explicó que este material fue reconocido por vez primera en Villa Fontana, alcanzando espesores de hasta 3 metros. Este autor, dice que se trata de lapilli negro basáltico, libre de cenizas-polvo, suelto conteniendo de dos a tres bandas o hilos blancos de pómez.

No siendo así, Bice (1985), quién nombra esta unidad litológica como Lapilli Basáltico de Masaya, con espesores entre 1 y 3 metros, aumentando su potencia en el área de Las Nubes, al Sur de Managua teniendo como edad medida entre 25,000 a 35,000 años.

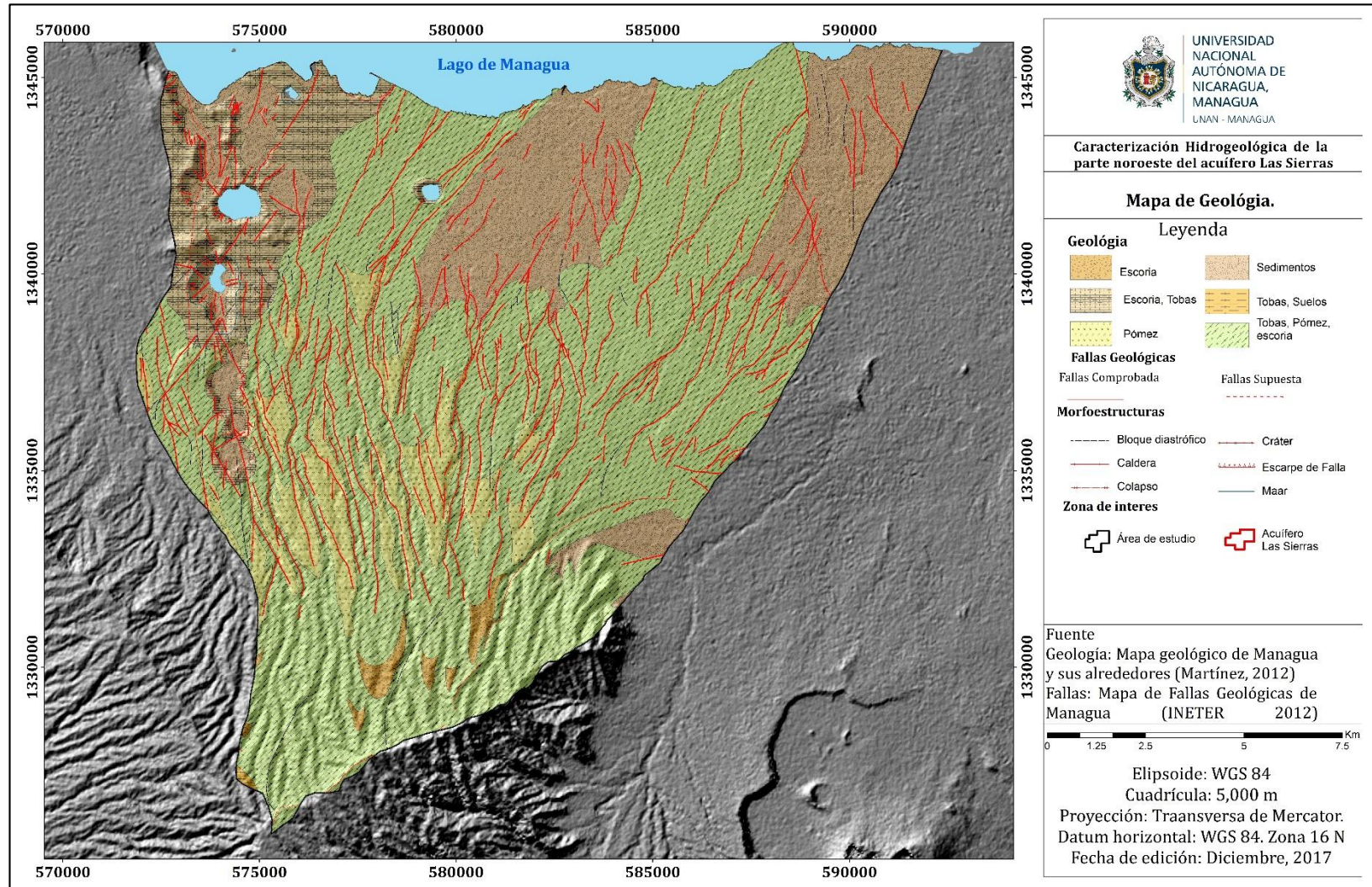


Figura 11. Mapa geológico del área de investigación, (Mapa Geológico Managua, (Martínez 2012).

## **CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

### **4.1. Recarga e infiltración.**

La infiltración es el volumen de agua que procede de las precipitaciones, a veces también de los ríos o de la recarga artificial, en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes (Custodio y Llamas, 2001).

Para estimar la recarga potencial para un área determinada se procede a determinar la capacidad de infiltración del suelo. Para la presente investigación se realizaron 17 pruebas de infiltración distribuidas en toda el área, esto con el fin de determinar la capacidad de infiltración representativa de los suelos en la zona estudiada, estas pruebas se hicieron por el método del permeámetro de Guelph, el cual consta de dos tubos, uno que actúa como depósito de agua y otro de menor dimensión que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener una carga hidráulica constante (tubo mariotte).

Cuando el permeámetro se encuentra instalado, el nivel del agua dentro de los tubos comienza a descender producto de la infiltración del agua en el suelo, lo que permite determinar la tasa o velocidad de infiltración.

Dichas pruebas fueron realizadas a lo largo y ancho del área, con el fin de determinar la velocidad de infiltración presente en la misma. En la tabla 2 se presenta los valores de infiltración obtenidos en las 17 pruebas, las cuales, fueron promediadas para obtener un valor representativo de la velocidad de infiltración, dando como resultado 23.93 mm/h equivalente a 143.60 mm/d, considerando un régimen de precipitación continua de 6 horas.

**Tabla 2.** Pruebas de infiltración realizadas en campo.

Ubicación	Coordenadas		Kfs (mm/h)	Kfs (mm/d)
	X	Y		
<b>BATCA</b>	586260	1343311	18.66	130.32
<b>Delicia carretera norte</b>	588547	1344941	21.72	111.96
<b>Centro de Salud</b>	582842	1341956	18.66	45.72
<b>Parque por Bello Horizonte</b>	584713	1342223	7.62	117.36
<b>Multicentro las Brisas</b>	572274	1344177	19.56	157.32
<b>Híper Santo Domingo</b>	581916	1338046	26.22	117.36
<b>HOLIDAY INN</b>	578403	1340310	19.56	86.76
<b>Rubenia</b>	584476	1341075	14.46	205.2
<b>Frente al MITRAB</b>	578265	1343803	34.20	123.12
<b>San Isidro de la Cruz Verde</b>	580027	1336960	20.52	370.8
<b>San Dionisio</b>	578426	1338837	61.80	142.92
<b>San Isidro Oeste</b>	577388	1336979	23.82	215.64
<b>UNI-RUPAD</b>	584397	1341640	35.94	57.6
<b>Monte Fresco</b>	574668	1332259	9.60	279.36
<b>Comarca El Crucero</b>	575302	1330312	3.9	164.16
<b>Bello Horizonte</b>	583861	1342698	10.56	63.36
<b>Colonia 10 de junio</b>	582091	1341290	8.7	52.2
<b>Promedio</b>			23.93	143.60

La recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración, de las precipitaciones o de un curso de agua. En cambio, la descarga natural es el volumen de agua que en un periodo de tiempo sale del embalse subterráneo a través de los manantiales terrestres, sub fluviales o submarinos, y también por evapotranspiración, si la zona saturada queda próxima a la superficie en amplias áreas (Custodio y Llamas, 2001).

Para el cálculo de la recarga en el área de investigación se utilizaron los datos de precipitación de las estaciones El Campbell, Aeropuerto, San Isidro de la Cruz Verde y La Primavera, estas se eligieron por presentarse dentro del área de estudio,

además por contener registros históricos en su mayoría completos de precipitaciones.

Con los datos de precipitación, evapotranspiración y coeficiente de infiltración, textura y uso de suelo se estimó la recarga potencial para cada área delimitada por el polígono de Thyssen utilizando el método del balance hídrico de suelos de Schosinsky (2007).

- **Recarga en el polígono de la estación primavera.**

A partir de los datos presentados anteriormente se calculó la recarga potencial del área de la estación la primavera obteniendo una recarga anual de 305.86 mm, lo cual equivale a un 15.90% de la precipitación total, el restante se pierde en evapotranspiración, escorrentía absorción de vegetación y suelo, (Tabla 4).

**Tabla 3.** Leyenda de las variables abordadas en el balance hídrico de suelo.

<b>BALANCE HIDRICO DE SUELOS</b> <b>Gunter Schosinsky (2007)</b>	
<b>Zona de Estudio:</b>	Acuífero las Sierras
<b>Fecha:</b>	jul-17
<b>Textura de Suelo:</b>	Franco Arenoso
<b>Simbología</b>	
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
Cl: Coeficiente de Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kf: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Iluvia

**Tabla 4.** Recarga potencial del área de la estación la primavera.

fc [mm/d]	143.60			
Kp [0.01%]	0.10			
Kv [0.01%]	0.20			
Kfc [0.01%]	0.5811		por peso	
CI [0.01%]	0.8811		(%)    (mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.50		CC	14.00 168.00
PR (mm)	800		PM	6.00 72.00
HSi (mm)	168.00		(CC-PM)	8.00 96.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12			

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	% P
P (mm)	14.02	4.65	14.70	38.11	291.49	270.43	238.82	220.71	309.51	429.27	70.29	21.83	1923.82	100.00
Ret [mm]	5.00	4.65	5.00	5.00	34.98	32.45	28.66	26.49	37.14	51.51	8.43	5.00	244.31	12.70
Pi (mm)	7.95	0.00	8.55	29.17	226.01	209.68	185.17	171.13	239.98	332.84	54.50	14.83	1479.79	76.92
ESC (mm)	1.07	0.00	1.15	3.94	30.50	28.30	24.99	23.10	32.39	44.92	7.36	2.00	199.72	10.38
ETP (mm)	159.06	161.89	200.74	201.66	196.59	168.73	173.29	177.26	164.99	155.91	151.25	149.43	2060.80	107.12
HSi (mm)	91.89	76.78	72.75	72.00	72.00	168.00	168.00	168.00	167.53	168.00	168.00	146.88		
C1	0.29	0.05	0.10	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93		
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	0.00	0.00		
HD (mm)	27.84	4.78	9.30	29.17	226.01	305.68	281.17	267.13	335.51	428.84	150.50	89.70		
ETR (mm)	23.06	4.03	9.30	29.17	128.42	168.73	173.29	171.60	164.99	155.91	75.62	69.81	1173.93	61.02
HSf (mm)	76.78	72.75	72.00	72.00	168.00	168.00	168.00	167.53	168.00	168.00	146.88	91.89		0.00
DCC (mm)	91.22	95.25	96.00	96.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	21.12	76.11		
<b>Rp (mm)</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.59</b>	<b>40.95</b>	<b>11.87</b>	<b>0.00</b>	<b>74.51</b>	<b>176.93</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>305.86</b>	<b>15.90</b>



De acuerdo a lo reflejado en la tabla 4 en el área de la estación La Primavera se recarga al acuífero se presentan a partir del mes de mayo, mes en el cual inicia el periodo lluvioso y se extiende hasta el mes de julio. En el mes de agosto el acuífero no recibe aporte producto de las precipitaciones esto se deba probablemente a que en este mes se presenta un pequeño periodo seco llamado canícula, en los meses de septiembre reaparece la recarga potencial y en el mes de octubre el cual representa el mes más lluvioso del invierno recibiendo el acuífero en este mes una total de 176.93 mm.

- **Recarga en el polígono de la estación San Isidro de la Cruz Verde.**

De acuerdo al balance hídrico de suelos realizado para el área de la estación San Isidro de la Cruz Verde, se presenta una recarga anual de 43.40 mm, lo cual equivale al 3.77% de las precipitación total en el área (Tabla 5), se puede aducir que el resto de la precipitación se pierde en evapotranspiración, escorrentía, y adsorción de suelo y vegetación.

En el área de la estación San Isidro de la Cruz Verde se presenta recarga potencial solamente en los meses de septiembre y octubre, siendo el mes de octubre en el que se presenta la mayor recarga (31.88 mm), el hecho de que no se ocurre recarga en el resto de meses del invierno se deba posiblemente a que las precipitaciones en estos no supera la evapotranspiración potencia y real.

**Tabla 5.** Recarga Potencial en el área de la estación San Isidro de la Cruz Verde.

fc [mm/d]	143.60			
Kp [0.01%]	0.15			
Kv [0.01%]	0.20			
Kfc [0.01%]	0.5811		por peso	
CI [0.01%]	0.9311		(%) (mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.50		CC	14.00 168.00
PR (mm)	800		PM	6.00 72.00
HSi (mm)	168.00		(CC-PM)	8.00 96.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12			

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	% P
P (mm)	2.23	0.00	2.02	30.77	156.27	152.16	131.16	192.56	218.09	229.20	31.52	4.93	1150.91	100.00
Ret [mm]	2.23	0.00	2.02	5.00	18.75	18.26	15.74	23.11	26.17	27.50	5.00	4.93	148.72	12.92
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	23.99	128.04	124.67	107.47	157.78	178.69	187.80	24.69	0.00	933.12	81.08
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	1.78	9.48	9.23	7.95	11.68	13.23	13.90	1.83	0.00	69.07	6.00
ETP (mm)	159.06	161.89	200.74	201.66	196.59	168.73	173.29	177.26	164.99	155.91	151.25	149.43	2060.80	179.06
HSi (mm)	81.99	73.71	72.27	72.00	72.00	101.74	142.05	159.06	165.82	168.00	168.00	117.07		
C1	0.10	0.02	0.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47		
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.70	1.00	1.00	0.00	0.00		
HD (mm)	9.99	1.71	0.27	23.99	128.04	154.41	177.51	244.83	272.51	283.80	120.69	45.07		
ETR (mm)	8.28	1.45	0.27	23.99	98.30	84.36	90.46	151.02	164.99	155.91	75.62	35.08	889.73	77.31
HSf (mm)	73.71	72.27	72.00	72.00	101.74	142.05	159.06	165.82	168.00	168.00	117.07	81.99		0.00
DCC (mm)	94.29	95.73	96.00	96.00	66.26	25.95	8.94	2.18	0.00	0.00	50.93	86.01		
<b>Rp (mm)</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>11.51</b>	<b>31.88</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>43.40</b>	<b>3.77</b>
NR (mm)	245.06	256.18	296.47	273.67	164.56	110.32	91.78	28.42	0.00	0.00	126.55	200.36	1793.36	155.82

- **Recarga en el polígono de la estación El Campbell.**

Para realizar el cálculo de la recarga correspondiente al área de la estación El Campbell, se consideró los datos de precipitación, evapotranspiración, coeficiente de infiltración, textura y uso de suelos, con el objetivo de determinar la recarga potencial mediante el balance hídrico de suelos de Schosinsky (2007); para el área se calculó una recarga potencial de 37.27 mm al año, lo cual, corresponde al 3.26% de la precipitación total, el restante se pierde en evapotranspiración, escorrentía, absorción de vegetación y suelo.

En la tabla 6 se observan los meses en los que se presentan recarga, estos son septiembre y octubre, estos meses corresponden al periodo lluvioso en los que se presentan las mayores precipitaciones, el resto de los meses de la estación lluviosa, las precipitaciones son de menor intensidad, por lo tanto, no logra aportar a la recarga del acuífero, de igual forma en el periodo seco, las precipitaciones son prácticamente nulas por ende en este periodo no ocurre recarga producto de precipitaciones en el acuífero.



- **Recarga en el polígono de la estación Aeropuerto.**

De igual manera que para las áreas de las estaciones anteriores se realizó el balance hídrico de suelos para estimar la recarga potencial en el área de la estación Aeropuerto, en el cual se estimó que una recarga anual de 37.27 mm, esto es equivalente al 3.26% de las precipitaciones anuales es decir que de 1,144.51 mm que llueve anualmente en el área de la estación Aeropuerto 37.27 mm llegan al acuífero, el resto se pierde en evapotranspiración, escurre superficialmente y es absorbido por el suelo y la vegetación.

En la tabla 7 se aprecia los cálculos correspondientes al balance hídrico de suelo del área de la estación Aeropuerto la cual refleja que en la misma ocurre recarga en los meses de septiembre y octubre, en estos meses se presentan las mayores precipitaciones en el área en moción, en los demás meses del periodo lluvioso las precipitaciones son menores por ende el acuífero no recibe aporte de agua producto de las mismas.



- **Recarga total en el área de estudio.**

Una vez realizado el balance hídrico de suelo correspondiente a las áreas de influencia de cada estación pluviométrica se estimó la recarga potencial total en el área de investigación, esto se hizo la adición de la recarga estimada en cada área obteniendo una recarga total de 427.2734 mm anuales (Tabla 8).

Mediante la elaboración del balance hídrico de suelo individualmente para cada área delimitada por polígono de Thiessen se logró identificar como zona de recarga del área de estudio el área de influencia de la estación La Primavera ya que esta presenta importantes valores de recarga anual (305.8573 mm), en comparación con las presentadas en las demás estaciones, de acuerdo a los registros históricos de precipitación esto se debe a que en el área de la estación La Primavera ocurren las mayores precipitaciones del área de estudio.

Para calcular la recarga total en el área de estudio se convirtió la extensión del área de km<sup>2</sup> a m<sup>2</sup> y la recarga de mm a m<sup>2</sup>, para obtener un valor de recarga total en los cuatro polígonos de 102,907,000 m<sup>3</sup>/año lo cual equivale a 102.907 millones de metros cúbicos al año, esto representa el potencial hídrico del área de estudio (Tabla 8).

**Tabla 8.** Recarga total en el área de estudio.

Estación/Recarga (mm)	La Primavera	San Isidro de la Cruz Verde	El Campbell	Aeropuerto
Enero	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Febrero	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Marzo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Abril	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mayo	1.5931	0.0000	0.0000	0.0000
Junio	40.9500	0.0000	0.0000	0.0000
Julio	11.8747	0.0000	0.0000	0.0000
Agosto	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Septiembre	74.5140	11.5150	11.2960	10.6212
Octubre	176.9256	31.8834	29.4542	26.6466
Noviembre	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Diciembre	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total (mm)	305.8573	43.3983	40.7501	37.2677
Total (m)	0.3058	0.0433	0.0407	0.0372
Área en km <sup>2</sup>	241			
Área en m <sup>2</sup>	241,000,000			
Recarga m <sup>3</sup> /año	73,697,800	10,435,300	9,808,700	8,965,200
Recarga anual total m <sup>3</sup> /año	102,907,000			
<b>Recarga anual neta en el área de estudio en MMCA</b>	<b>102.907</b>			

#### 4.2. Hidrodinámica de acuífero.

La ocurrencia del flujo subterránea en el área de estudio se determinó a partir de la recopilación de información de campo en el caso particular los niveles estáticos del agua (NEA) en 135 pozos distribuidos en toda el área delimitada los cuales son pozos perforados.

Una vez recopilada la información se realizó una interpolación de datos obteniendo las curvas piezométricas o como se les denomina comúnmente equipotenciales, la superficie equipotencial es el lugar geométrico de los puntos del espacio (pozos)



que tienen un mismo potencial hidráulico, en la figura 12 se presenta la ubicación y distribución en el área de estudio de los pozos monitoreados.

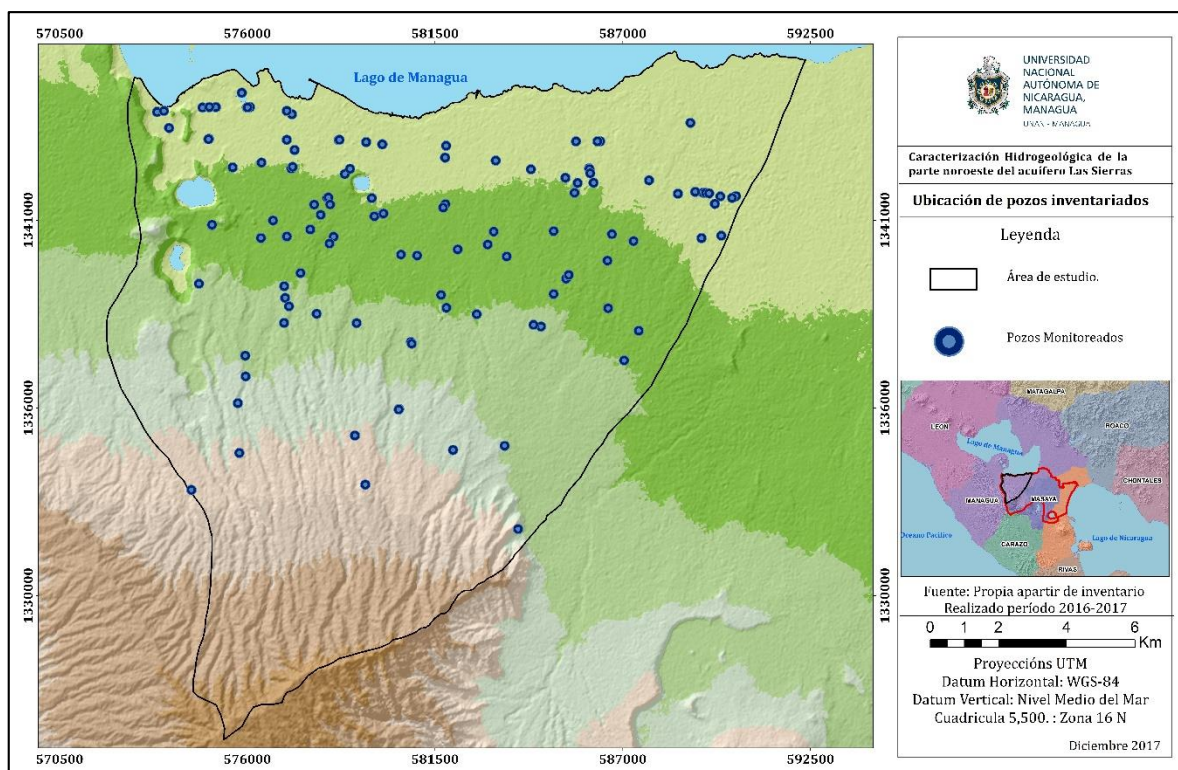


Figura 12. Mapa de ubicación de los pozos monitoreados.

#### 4.2.1 Profundidad del agua subterránea.

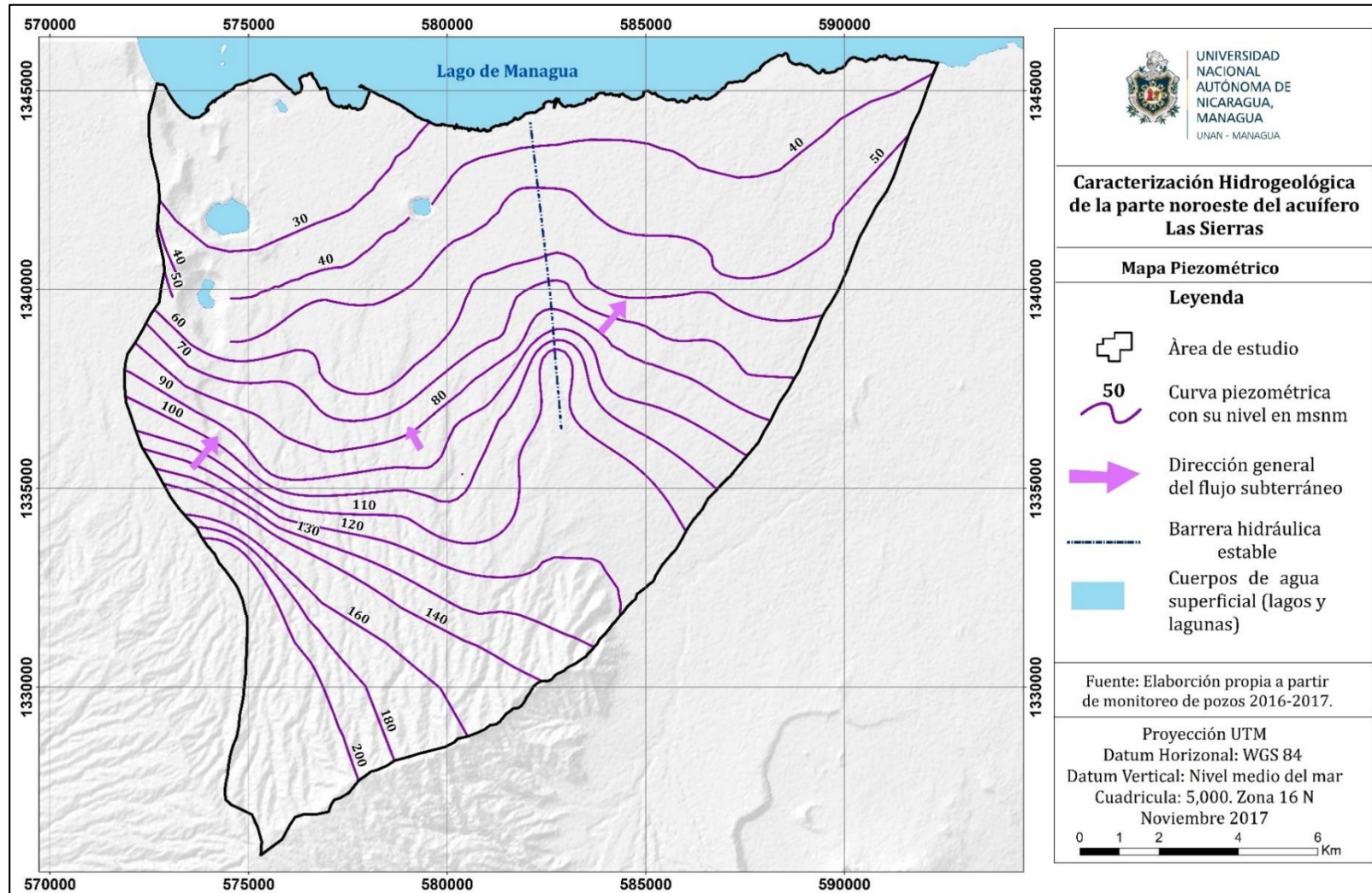
La profundidad del agua subterránea es variable en el tiempo y espacio, además depende de la entrada (recarga) y salida (extracción), particularmente el área de estudio se sitúa en su mayoría en una zona de alta densidad poblacional la cual demanda grandes volúmenes de agua los cuales principalmente son extraídos del manto acuífero.

De acuerdo al inventario realizado en las 135 fuentes subterráneas las profundidades del agua en el área de estudio varían de 6.12-207.65 msnm, se

observó que la profundidad del agua subterránea se comporta según la topografía es decir mayor elevación mayor profundidad, este comportamiento obedece a acuíferos porosos libres, donde la dirección y velocidad de flujo subterráneo se rige estrictamente por la naturaleza geológica del medio, en el caso particular los depósitos volcánicos recientes denominados Las Sierras propician el buen drenaje subterráneo.

#### **4.2.2 Piezometría de acuífero.**

Según las equipotenciales obtenidas a partir de la interpolación de los datos de campo en el área de estudio se presenta un drenaje subterráneo bien definido (Figura 13), teniendo como condicionante del mismo una barrera hidráulica estable con dirección norte-sur que divide el flujo en dos direcciones, en el noreste del área el flujo subterráneo se desplaza en dirección suroeste-noroeste, mientras que al noroeste del área el agua fluye en sentido sureste noroeste principalmente ya que en esta zona se encuentra un tercer flujo con dirección suroeste noreste el cual converge con el flujo descrito anteriormente, este flujo se encuentra relacionado con la divisoria de agua subterránea que comprende el límite entre el acuífero Las Sierras y el acuífero Chiltepe-Mateare, (Figura 13).



**Figura 13.** Mapa Piezométrico del área de estudio, (Elaboración propia a partir de inventario de pozos 2016-2017).

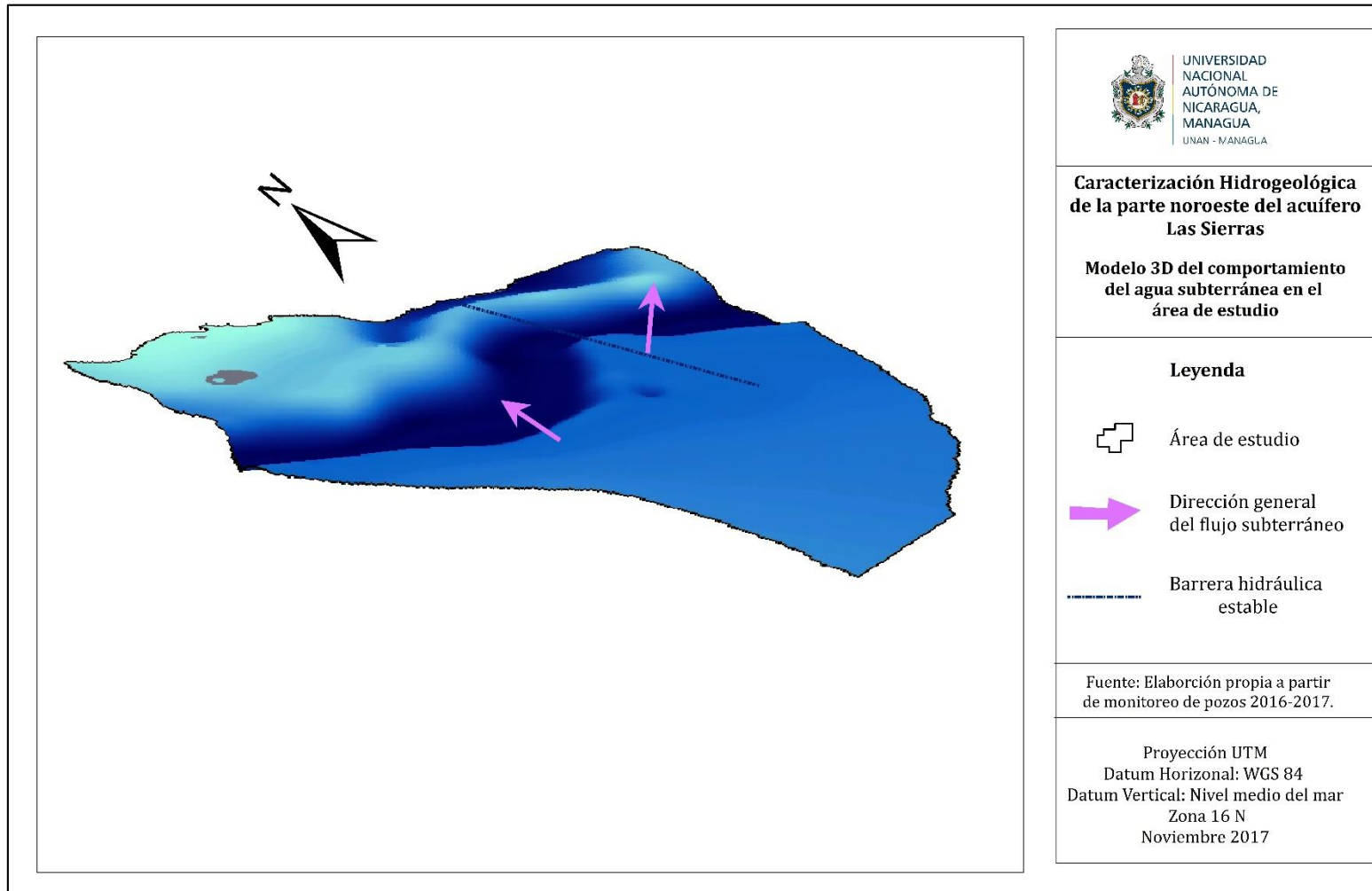
#### **4.2.3 Modelo tridimensional del agua subterránea.**

Determinar el comportamiento del agua subterránea a menudo puede resultar algo complejo, sin embargo en acuíferos de comportamiento regularmente homogéneo se puede hacer una aseveración de la dinámica que del acuífero, tomando como base la interpolación de los puntos de monitoreo de agua subterránea (cuevas piezométricas).

Se realizó una modelo en tres dimensiones del comportamiento del nivel de aguas subterránea en el área de estudio, esto con el fin de identificar zonas de mayor extracción de agua en el acuífero, como resultado se obtuvo un modelo de las variaciones del techo del acuífero.

El bombeo de un pozo ocasiona en el medio hidrogeológico un cono de abatimiento el cual se denomina radio de influencia del pozo, cuando dos o más pozos se sitúan a una distancia tal que el cono de abatimiento del mismo alcanza el cono de abatimiento del otro pozo se puede decir que hay interferencia entre pozos; una cantidad de pozos considerables interfiriéndose entre sí podría estar ocasionando la depresión que se aprecia en la figura 14 la cual se ha generado por las extracciones realizadas en la zona en los últimos años,.

Cabe mencionar que esa depresión o zona de explotación intensiva se localiza donde existe una mayor concentración de población (zona urbana de Managua), por ende en esta zona existe una gran demanda de agua la cual es suplida a través de pozos perforados donde según los resultados de las pruebas de bombeo los caudales de explotación oscilan entre 233.2-2534.3 GPM, (Figura 16).



**Figura 14.** Modelo tridimensional del comportamiento del agua subterránea en el área de estudio, (Elaboración propia a partir de inventario de pozos 2016-2017).

### **4.3. Identificación de zonas de recarga hídrica.**

La recarga hídrica es el proceso de incorporación de agua al acuífero. Según el INAB (2003), el clima, el suelo, la topografía, la estratigrafía geológica, la cobertura vegetal y la escorrentía son los principales factores que afectan la recarga hídrica. La lluvia en las zonas de recarga de los acuíferos es la principal y más importante fuente de abastecimiento de agua para los diferentes cursos, manantiales y cuerpos de agua subterráneos.

Las áreas de mayor recarga son las que más nos interesa conservar y manejar, a fin de mantener bajo control sus características físicas de permeabilidad e infiltración, ya que estas afectan la magnitud de la recarga, así como la generación de contaminantes que se puedan infiltrar al acuífero y dañar la calidad de sus aguas. En las zonas altas montañosas gran parte de la precipitación es de origen orogénico y más constante. Por esas razones, estas áreas de la cuencas son las de mayor importancia para la recarga, principalmente si el suelo y subsuelo son permeables.

En este contexto general, las zonas de recarga y el proceso mismo de recarga de las aguas subterráneas son cada vez más importantes, estratégicamente, como alternativa para atender la demanda del recurso. Sin embargo, muchas de las prácticas que realiza el ser humano en actividades como la agricultura, la ganadería, la producción forestal, el desarrollo urbanístico, la industria, etc. alteran las características de las zonas de recarga hídrica, e interfieren con la infiltración del agua al erosionar, compactar, impermeabilizar y/o dejar descubierto el suelo, En consecuencia, se da una mayor escorrentía superficial y disminuye la recarga de los acuíferos, con lo que se reduce el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y la calidad de las mismas, con frecuencia hasta niveles inadecuados para consumo humano y para otros usos como el riego.

Tomando en cuenta los factores de vegetación, suelo y precipitación se identificó y delimito como zona de recarga la porción sur del área de estudio, el polígono

trazado corresponde al del área de influencia de las precipitaciones delimitada con Thiessen para la estación meteorológica La Primavera (Figura 15), en la cual según los datos de precipitación se da la mayor ocurrencia de precipitaciones en el año y de acuerdo al balance hídrico de suelo realizado y abordado en el acápite de recarga e infiltración, en esta área ocurre la mayor recarga anual, otro factor importante es la vegetación ya que esta área presenta la mayor cobertura de la zona permitiendo una mayor permanencia del agua en el subsuelo dando lugar que el agua sea conducida hasta el acuífero, los suelos y formaciones geológicas permiten una rápida infiltración de las precipitaciones favoreciendo a la recarga del acuífero, por otro lado el movimiento del agua subterránea en dirección al drenaje superficial permite que el agua que escurre en escorrentía se incorpore al subsuelo.

El factor que desfavorece a la recarga es la pendiente ya que en esta zona predominan las crestas (ver mapa geomorfológico), por ende una parte significativa de las precipitaciones no se incorpora al acuífero. En el área se presenta en algunas zonas actividad agrícola lo cual representa un amenaza inminente ya que la calidad del agua puede ser afectada por la adición de sustancias nocivas en el caso del uso de pesticidas, otra manera por la cual se puede ver afectada la calidad del agua es por el uso y manejo de desechos ya que estas zonas están aisladas de las zonas urbanas por ende no se almacena y recogen los desechos y aguas grises las cuales muchas veces es vertida y tiradas a los cauces naturales, por tal razón en el área recarga se deberá implementar buenas prácticas agrícolas, el uso y manejo de desechos y planes de reforestación y conservación de bosques.

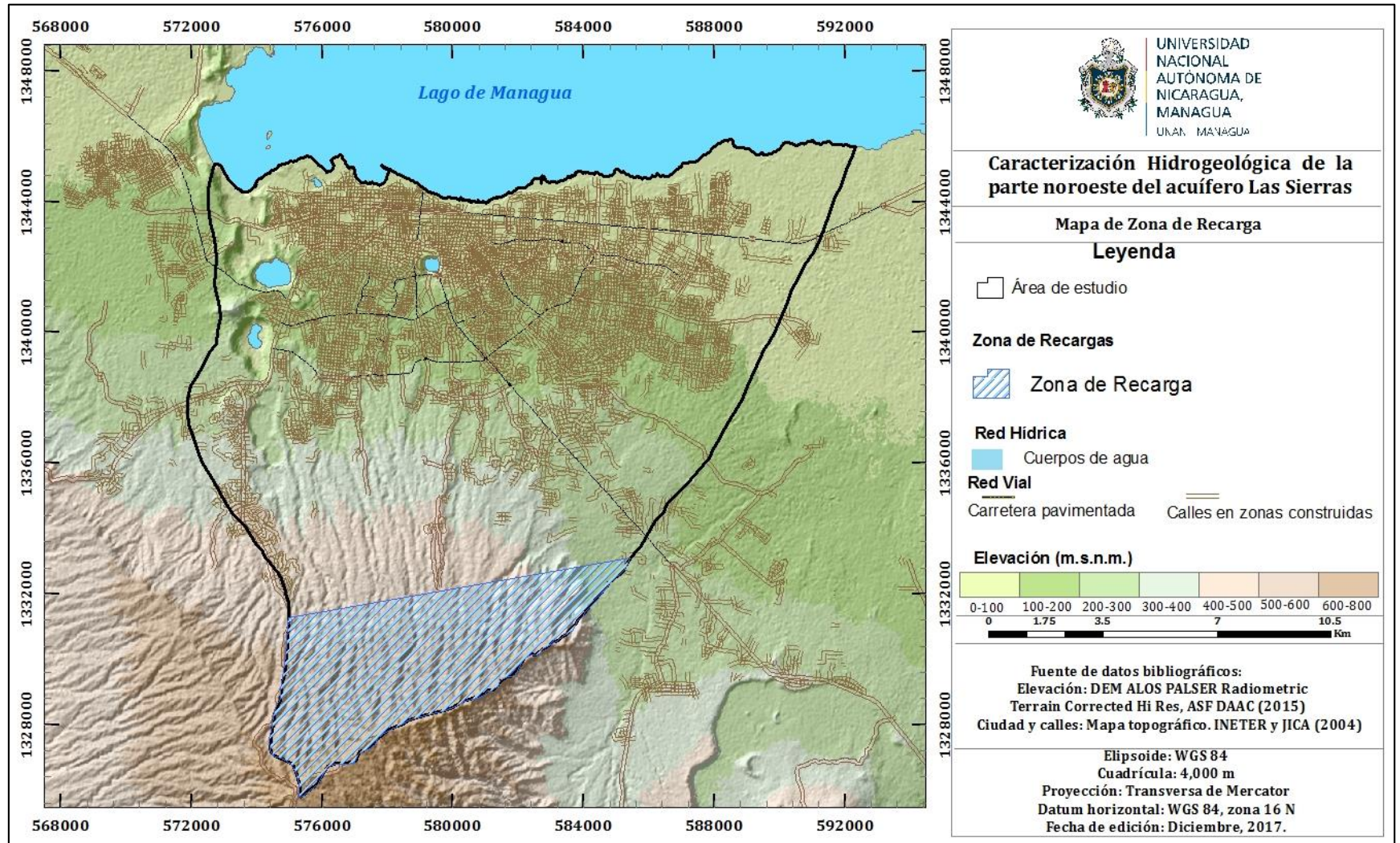


Figura 15. Mapa de delimitación de zona de recarga, (Elaboración propia).



#### 4.4. Propiedades Hidrogeológicas del Acuífero.

Para obtener parámetros hidrogeológicos del área de estudio, fue necesario realizar 6 pruebas o ensayos de bombeo a algunos pozos ubicados dentro del área de estudio, los cuales, fueron tomados al azar y donde se logró tener el permiso para realizar el ensayo, los datos obtenidos a partir de las pruebas de bombeo son: Transmisividad, Conductividad Hidráulica, Capacidad Específica, Coeficiente de Almacenamiento. Las pruebas se realizaron a caudal constante y con una duración de 24 horas para cada pozo, exceptuando el pozo 4 al que solo se le pudo realizar el bombeo durante 12 horas.

Se realizaron las pruebas antes mencionadas a caudal constante debido a que los datos de interés es la eficiencia del acuífero, esto se debe a que al implementar dicho bombeo los resultados obtenidos son precisos, mientras que las pruebas que se realizan a caudal escalonado sirven para conocer la eficiencia de los pozos y a si determinar el caudal más indicado para la explotación de los mismos; Debido a que no se contaba con pozo de observación, a la hora de realizar los ensayos en cada pozo, no se pudo estimar el coeficiente de almacenamiento, por lo que se recurrió al uso de información secundaria.

El ensayo de bombeo realizada al pozo 1 fue a caudal constante durante 24 horas, dicho pozo se sitúa en las coordenadas UTM WGS-84 581764E - 1343896N. Los datos de la prueba de bombeo fueron levantados *in situ* usando sonda de nivel marca Solinst. Se inició las mediciones a las 8: 18 a.m. del día 17 de julio del corriente año, finalizando a las 8:18 a.m. del siguiente día. Posterior a esto, se registró la recuperación del pozo hasta las 12:30 p.m.; la profundidad total del pozo equivale a 91.44 m, se registró un nivel estático al inicio de la prueba de 11.65 m. el caudal de bombeo registrado fue de 233.2 g.p.m, lo cual equivale a 1271.1 m<sup>3</sup>/d.

La prueba de bombeo de los pozos 2 ubicado en las coordenadas 583446 E - 1343628 N y pozo 3 situado en las coordenadas 583452E – 1343720N, fueron

realizadas a caudal constante, tuvieron una duración de 24 horas. Dichas pruebas de bombeo se realizaron los días 27 y 29 de septiembre del corriente año. Se utilizó un caudal de 422.26 gpm, equivalente a 2,301.49 m<sup>3</sup>/d para la prueba de bombeo del pozo 2; mientras, para el pozo 3 se utilizó un caudal de 516.22 gpm, equivalente a 2,813.61 m<sup>3</sup>/d. La profundidad total del pozo 2 es de 152.44 m, equivalente a 500 pies, siendo el nivel estático del agua medido el día de la prueba de bombeo de 24.79 m, equivalente a 81 pies. Por su parte, el pozo 3 presenta una profundidad total de pozo de 121.95 m, equivalente a 400 pies.

El ensayo de bombeo realizado al pozo 4 ubicado en las coordenadas 583910E - 1342008 N, fueron realizadas a caudal constante en un periodo de 12 horas, dicho ensayo fue realizado en día 02 de octubre del año en curso. Se utilizó un caudal de 450 gpm, equivalente a 2452 m<sup>3</sup>/d, la profundidad total del pozo es de 300 pies equivalentes a 91.44 metros, el nivel estático encontrado en el pozo fue de 147 pies o 47.36 metros.

La prueba realizada en el pozo 5 se localiza en las coordenadas 581933E - 1338562N, esta se realizó a un caudal constante por un lapso de tiempo de 24 horas, la prueba se ejecutó los días 23 y 24 de agosto del año en curso, el caudal utilizado durante el ensayo fue de 3362 m<sup>3</sup>/d (613 GPM), el pozo cuenta con una profundidad total de 880 pies (268.2 m), el nivel estático medido previo a iniciar el bombeo fue de 105.98 metros.

En el caso del pozo 6 se ubica en las coordenadas 578877-1338287N, igual que las pruebas anteriores se realizaron mediciones con un bombeo continuo de 24 horas a un caudal de 2534.3 m<sup>3</sup>/d (480 GPM), el ensayo se llevó a cabo los días 26 y 27 de septiembre del año en curso, en este pozo se desconoce la profundidad total por ser de vieja data, el nivel estático monitoreado en este pozo corresponde a 154.08 metros.

Los Caudales utilizados para cada prueba se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9.** Caudales operados en los pozos en las pruebas de bombeo.

Sitios	Caudal (GPM)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)
<b>Pozo 1</b>	233.2	1,271.1
<b>Pozo 2</b>	422.00	2,300.07
<b>Pozo 3</b>	516.22	2,813.61
<b>Pozo 4</b>	337.00	1,836.78
<b>Pozo 5</b>	3362	613
<b>Pozo 6</b>	2534.3	480

#### 4.4.1 Transmisividad.

La Transmisividad es la capacidad de un medio para transmitir agua. Es el producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero (Custodio y Llamas, 2001).

Según la Comisión Nacional del Agua (2007), la Transmisividad es una propiedad que ha tenido relevancia práctica en la evaluación de los acuíferos. Esta determinada directamente el rendimiento del espesor acuífero que atraviesa el aprovechamiento hidráulico. La define como la cantidad de agua que circula a través de una sección vertical de un metro de anchura y de altura igual al espesor saturado del acuífero, afectado por un gradiente hidráulico cuyo valor es igual a uno. Tiene dimensiones de longitud al cuadrado sobre el tiempo y se expresa en m<sup>2</sup>/día o m<sup>2</sup>/s.

La Transmisividad calculadas en las pruebas de bombeo fueron obtenidas a partir de dos métodos, los cuales, varían con respecto al tipo de acuífero que está siendo aprovechado. Entre ellos tenemos la Transmisividad calculadas en las prueba de bombeo realizada al pozo 1 esta se realizaron a través de la fórmula del método de ajustes de curvas de Hantush, utilizado en acuíferos de tipo semiconfinados, este fue utilizado debido a que el pozo aprovechado están atravesando algunos estratos poco permeables por lo que se da la presencia del semiconfinamiento. El método en si consiste en tomar en cuenta los cambios de almacenamientos en el acuífero,

con valores obtenidos durante el tiempo de bombeo, dando la ecuación de reducción de flujo régimen no estacionario. Expresada de la siguiente manera:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, \beta)$$

Donde:

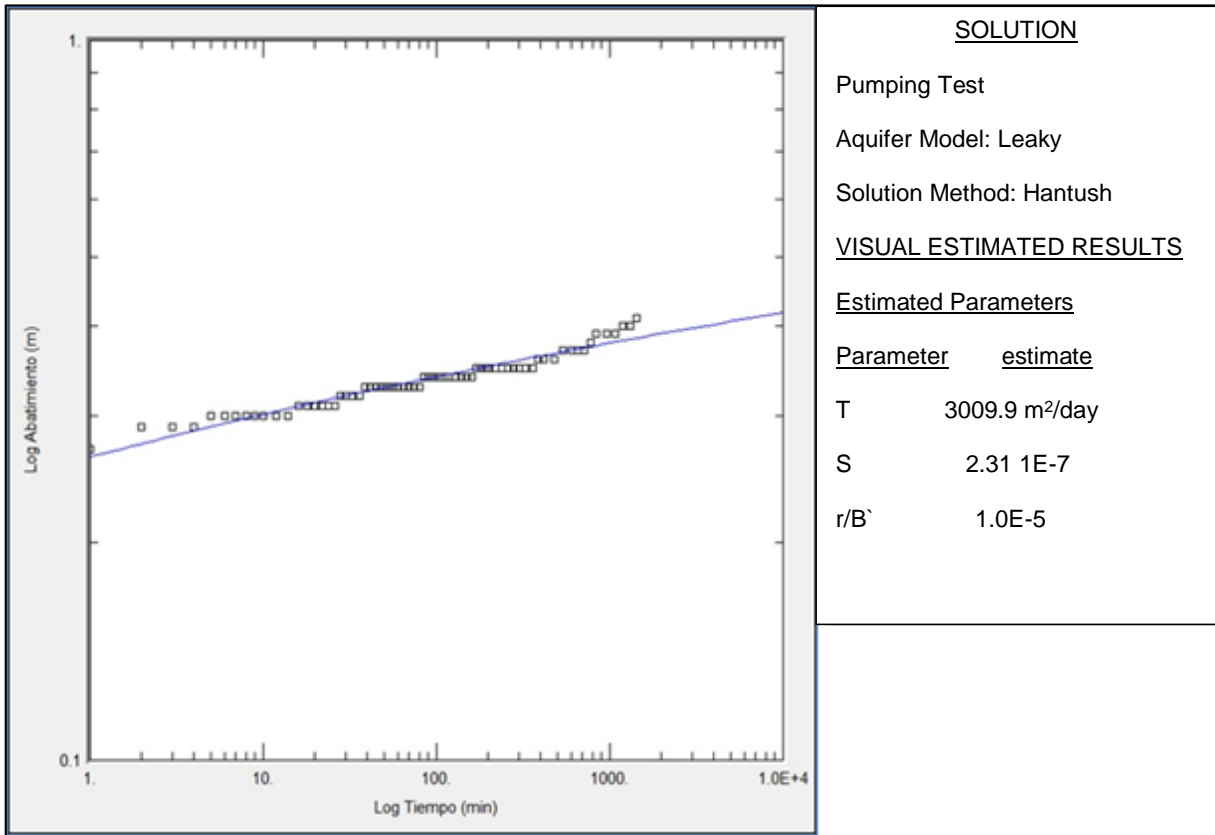
**T:** Transmisividad (m<sup>2</sup>/día).

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/d).

**s:** Abatimiento (m).

**W(u,β):** Función teórica de pozos.

La Transmisividad calculada para el pozo 1 a través del método de ajustes de curvas de Hantush fue de 3009 m<sup>2</sup>/d, estimada a partir de un caudal de bombeo de 1271.1 m<sup>3</sup>/d (233.2gpm), (Ver gráfico 3).



**Gráfico 3.**Calculo de Transmisividad por el método de Hantush pozo 1.

Según Krasny (1998) en la mayoría de la subprovincia hidrogeológica del graben nicaragüense, se presenta un conjunto de cuerpos hidrogeológicos (acuíferos y acuitardos) extensos y complejos, formados por diferentes unidades geológicas como el grupo Las Sierras, grupo Managua y otras formaciones de origen volcánicos de edad Cuaternaria hasta Terciaria, particularmente cubiertos por depósitos Cuaternarios aluviales, coluviales, dichos cuerpos hidrogeológicos son considerados como el “Grupo de Acuíferos Principal”-(GAP).

El (GAP) a su vez se delimito en 66 áreas, las cuales, las Transmisividades se presentan según su magnitud perteneciendo en su mayoría a partes de planicie con clase I y II (Transmisividades muy altas y altas), con valores prevalecientes de centenas de miles de m<sup>2</sup>/d y según la variabilidad a clases a y b (variabilidad insignificante y pequeña); el sitio donde se ubica el pozo 1 corresponde al área N° 49 en la cual se han registrado valores de Transmisividad de 9,400 m<sup>2</sup>/d.

De acuerdo a la Transmisividad calculada, se considera como clase I, la cual indica que es una Transmisividad “Muy Alta” por encontrarse por encima de 1,000 m<sup>2</sup>/d, (Tabla 11).

La Transmisividad calculada para los pozos 2 y 3 fueron analizados a partir del comportamiento del abatimiento versus el tiempo (gráfico semi - logarítmico), y partiendo del conocimiento hidrogeológico que se tiene de la zona en que se sitúan ambos pozos, por ende, se recurrió al uso del método de Hantush - Jacob (1955); (Ver gráficos 4 y 5).

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W\left(u, r/B\right)$$

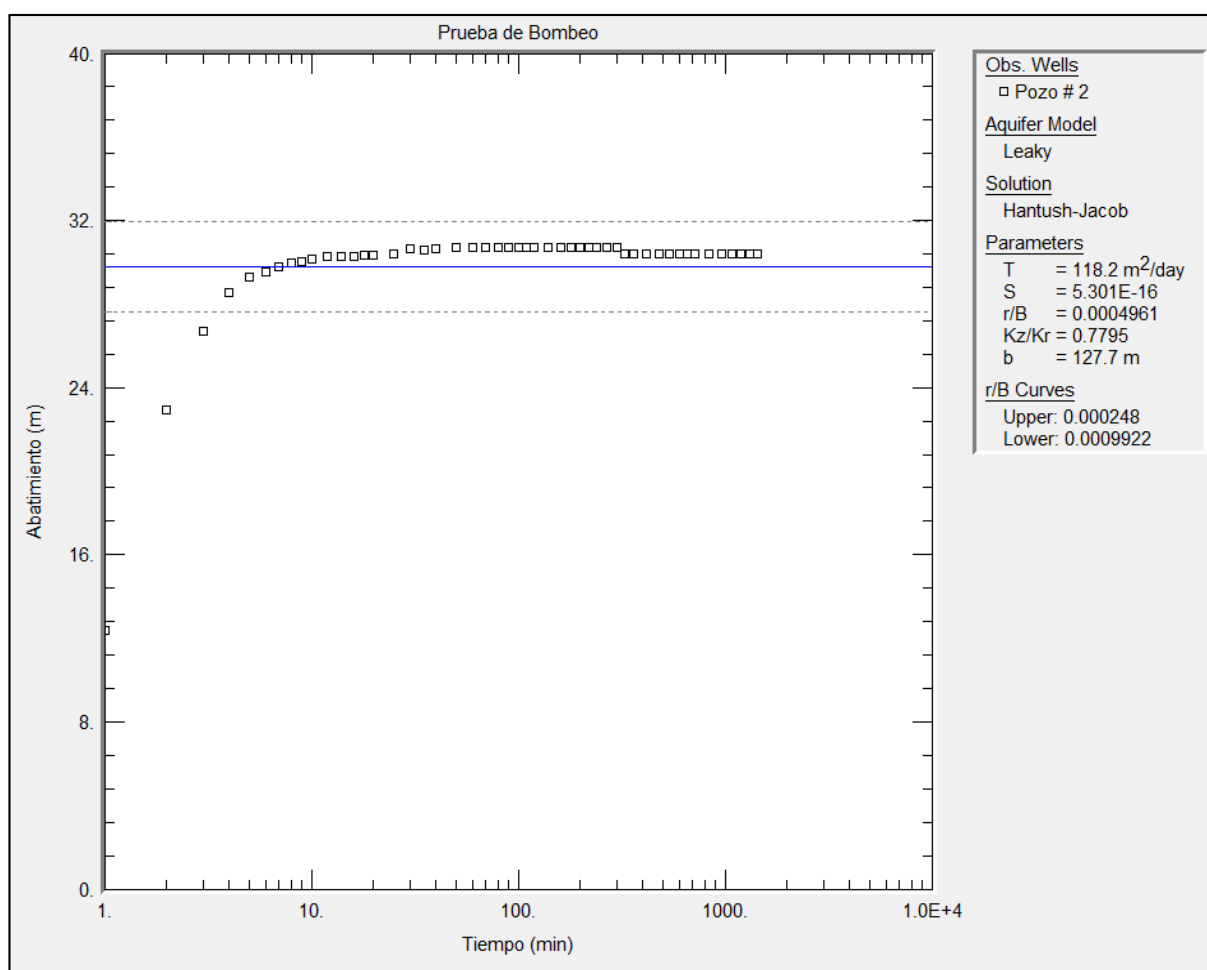
Donde;

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/d)

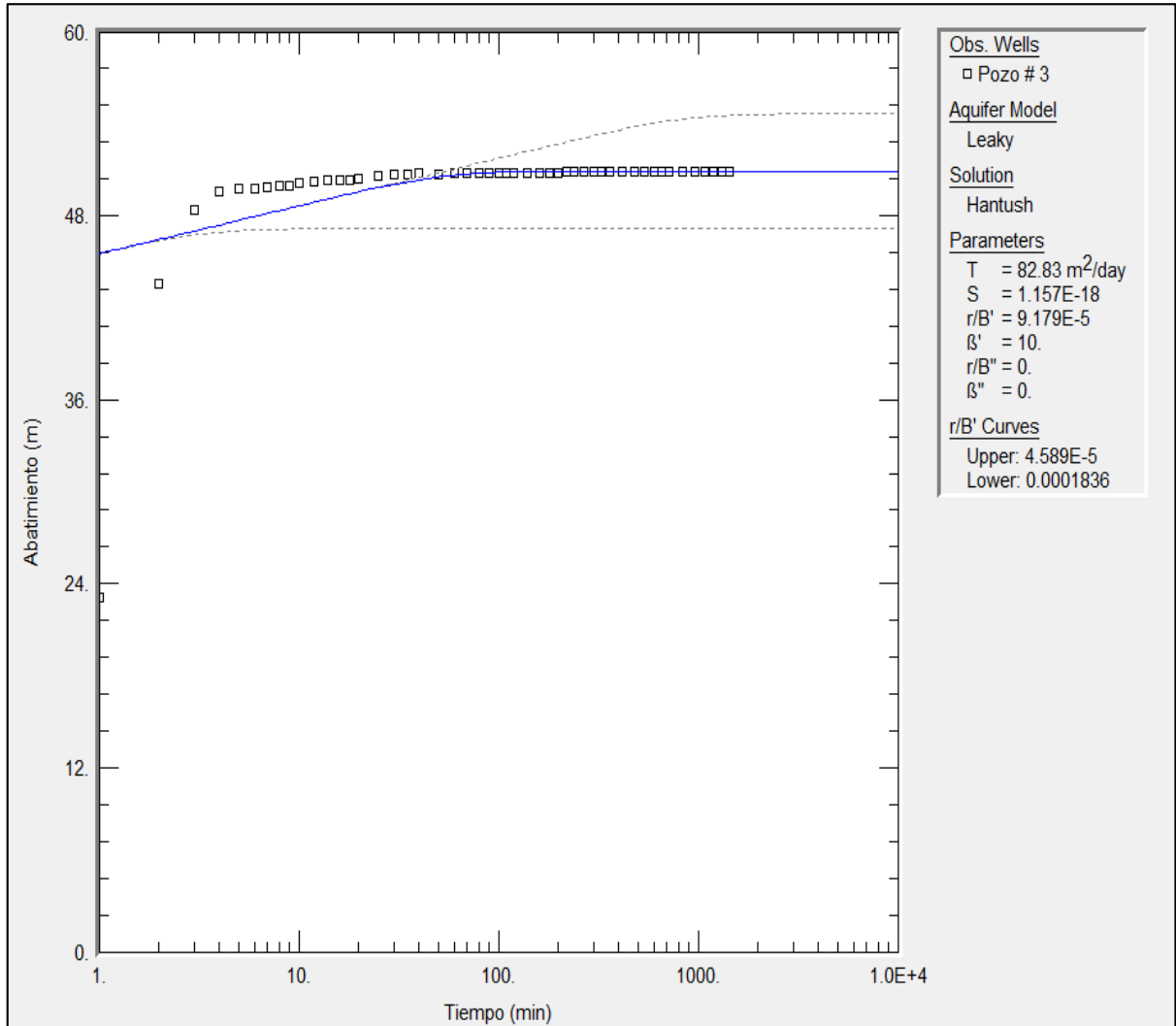
**s:** Abatimiento (m)

**W(u, r/B):** Función del pozo para acuíferos Leaky, la cual fue determinada analíticamente.

De acuerdo con los resultados de las pruebas de bombeo se estimó una Transmisividad de 118.20 m<sup>2</sup>/d para el pozo 2 y 82.83 m<sup>2</sup>/d para el pozo 3, partiendo de un valor de r/B igual a 4.96 x 10<sup>-4</sup> para el pozo 2 y 9.18 x 10<sup>-5</sup> para el pozo 3. De acuerdo con la tabla x el pozo 2 se clasifica como Transmisividad alta, mientras el pozo 3 se clasifica como moderada.



**Gráfico 4.** Calculo de Transmisividad por el método de Hantush pozo 2.



**Gráfico 5.** Cálculo de Transmisividad por el método de Hantush pozo 3.



La segunda metodología utilizada fue el método de Jacob, la cual consiste en representar los datos de la evolución y desarrollo de los niveles durante el bombeo en una gráfica semilogarítmica de abatimiento versus tiempo, a partir de esto se interpola una recta la cual debe ajustarse lo mejor posible a los puntos de la gráfica, aunque en la mayoría de los casos los primeros puntos no están alineados ya que la solución de Jacob no puede cumplirse para tiempos pequeños.

La fórmula de Jacob se encuentra representada de la siguiente manera:

$$T = 0.183 \frac{Q}{\Delta s}$$

En donde:

**T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/d).

**Q** = Caudal de bombeo del pozo (m<sup>3</sup>/d).

**Δs** = Diferencia de niveles (m).

La metodología de Jacob se utilizó para calcular las Transmisividades en los pozos 4, 5 y 6.

La Transmisividad calculada para el pozo 4 fue de 672.26 m<sup>2</sup>/d (Grafico 6), para el pozo 5 se obtuvo un valor de 769 m<sup>2</sup>/d (Grafico 7), mientras que en el pozo 6 la Transmisividad calculada fue de 928 m<sup>2</sup>/d (Grafico 8).

Los gráficos de los datos medidos durante las pruebas de bombeo, criterios y cálculos para calcular la Transmisividad de en los pozos mencionados se reflejan en los gráficos siguientes:

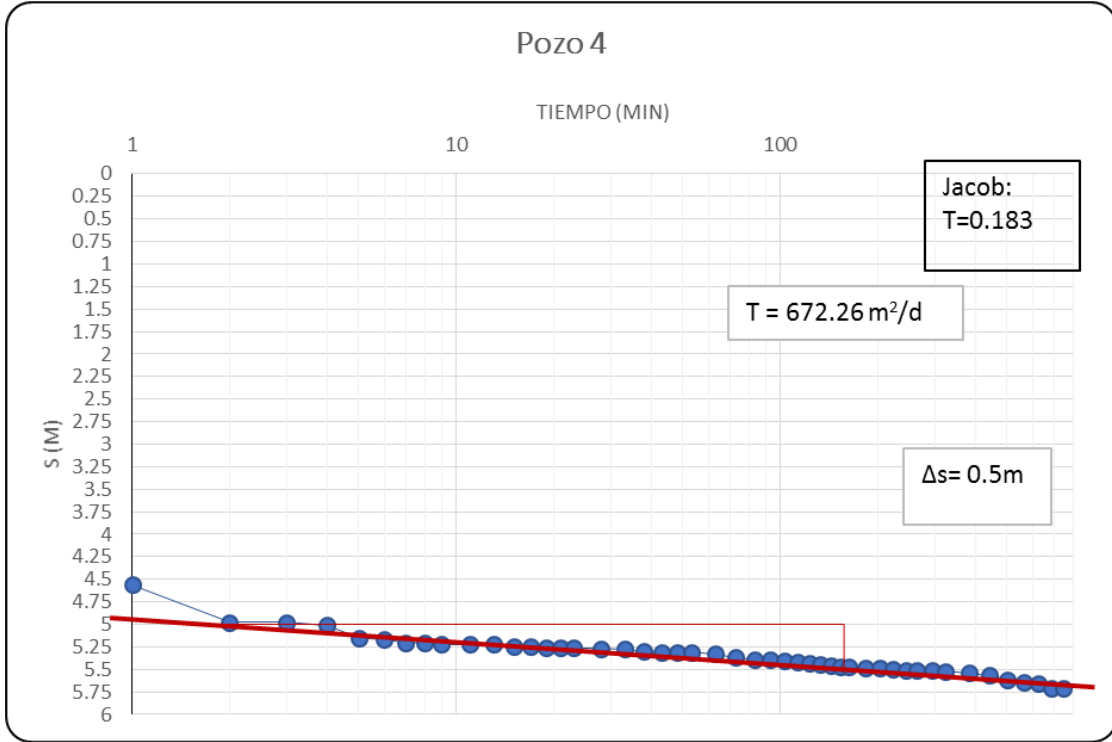


Gráfico 6. Calculo de Transmisividad por el método de Jacob pozo 4.

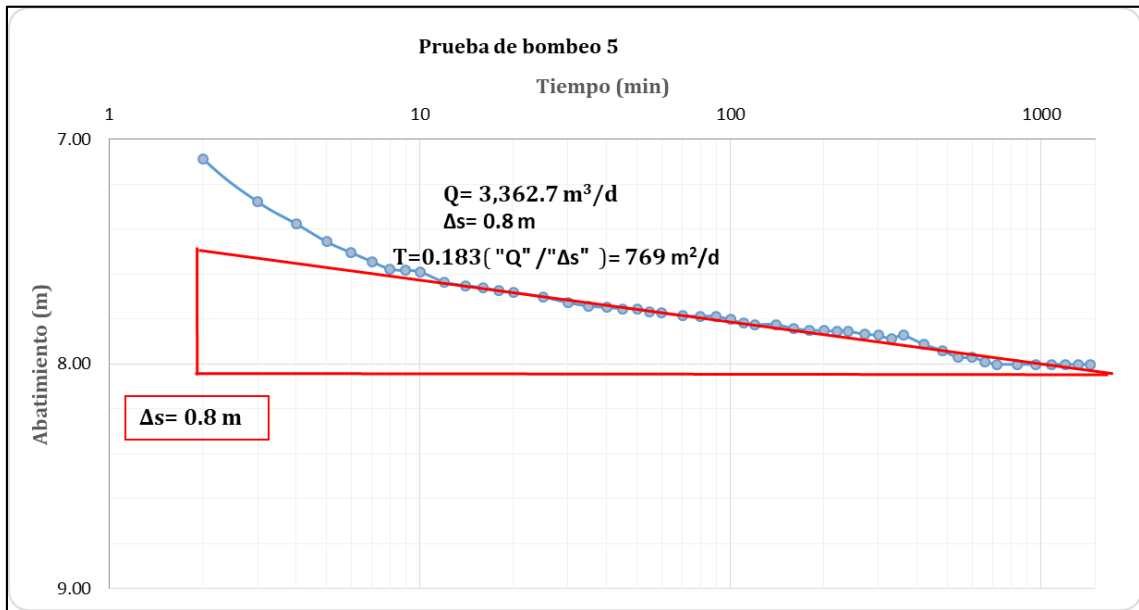
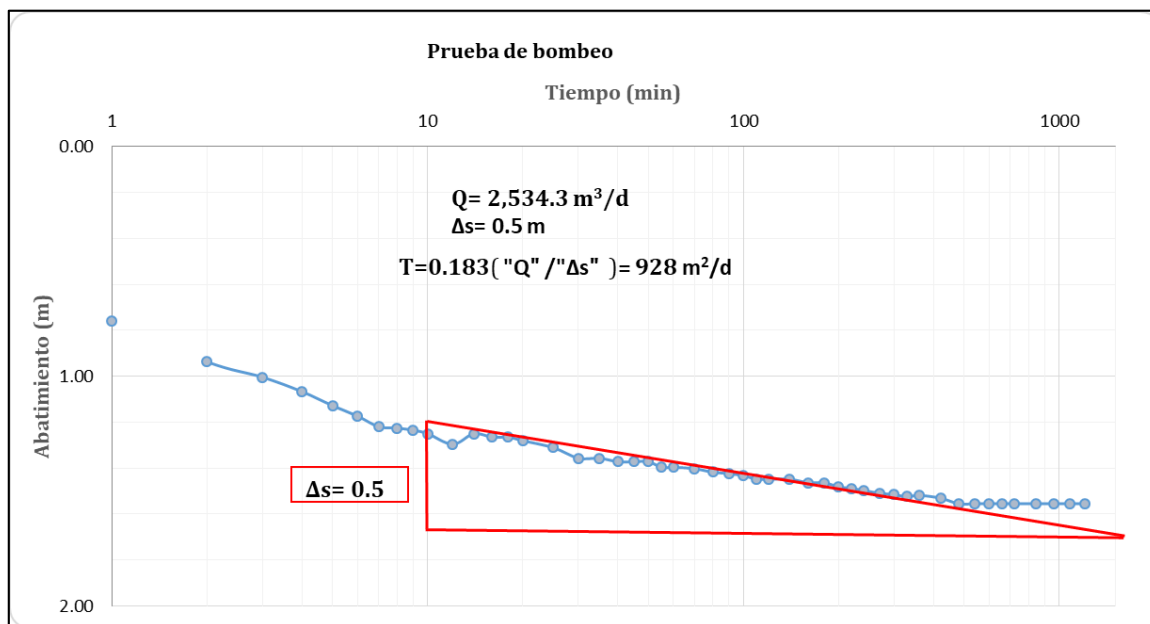


Gráfico 7. Calculo de Transmisividad por el método de Jacob pozo 5.



**Gráfico 8.** Calculo de Transmisividad por el método de Jacob pozo 6.

Las Transmisividades obtenidas durante las pruebas de bombeo se presentan en la tabla 10, en ella se presentan los caudales utilizados durante la prueba de bombeo y sus respectivas Transmisividades. Mientras que en la tabla 11 se representan la clasificación de Transmisividades propuestas por Krasny (1998).

**Tabla 10.** Resumen de las Transmisividades calculadas en el área de estudio.

Sitios	Caudal (GPM)	Caudal (m³/d)	Transmisividad (m²/d)
Pozo 1	233.20917	1,271.08	3009
Pozo 2	422.00	2,300.07	118.2
Pozo 3	516.22	2,813.61	88.83
Pozo 4	337.00	1,836.78	672.26
Pozo 5	480	3362.7	769
Pozo 6	615	2534.3	928

**Tabla 11.** Representación de la Transmisividad según Krasný, (1998).

Clase de Transmisividad	Coefficiente de Transmisividad m <sup>2</sup> /d	Rango de Transmisividad
I	>1000	Muy alta
II	100 - 1000	Alta
III	10 – 100	Moderada
IV	1 - 10	Baja

De acuerdo a los Transmisividades calculadas a través de las pruebas de bombeo en el área de estudio se encuentran valores desde 88.83 hasta 3009 m<sup>2</sup>/d, las cuales se pueden agrupar en tres clases en el caso de la Transmisividad mínima corresponde según Krasný a moderadas, en tanto que los valores de, 118.2, 769, 672.26, 769, 928 m<sup>2</sup>/d se agrupan en Transmisividades altas, caso particular y menos predominante el valor de 3009 m<sup>2</sup>/d se define como muy alta (Tabla 11).

Los resultados de los 6 ensayos de bombeo realizados en el área de estudio determina que el acuífero es de buen rendimiento lo cual coincide con los valores presentados por el estudio hidrogeológico presentado por Krasný en 1998, sin embargo la variación espacial de las Transmisividades es indicativo de que el agua subterránea está siendo concentrada en las zonas de mayor presencia de pozos por lo cual el flujo subterráneo se está concentrando en estas zonas, en la figura 16 se presenta la ubicación de los pozos donde se realizaron las pruebas.

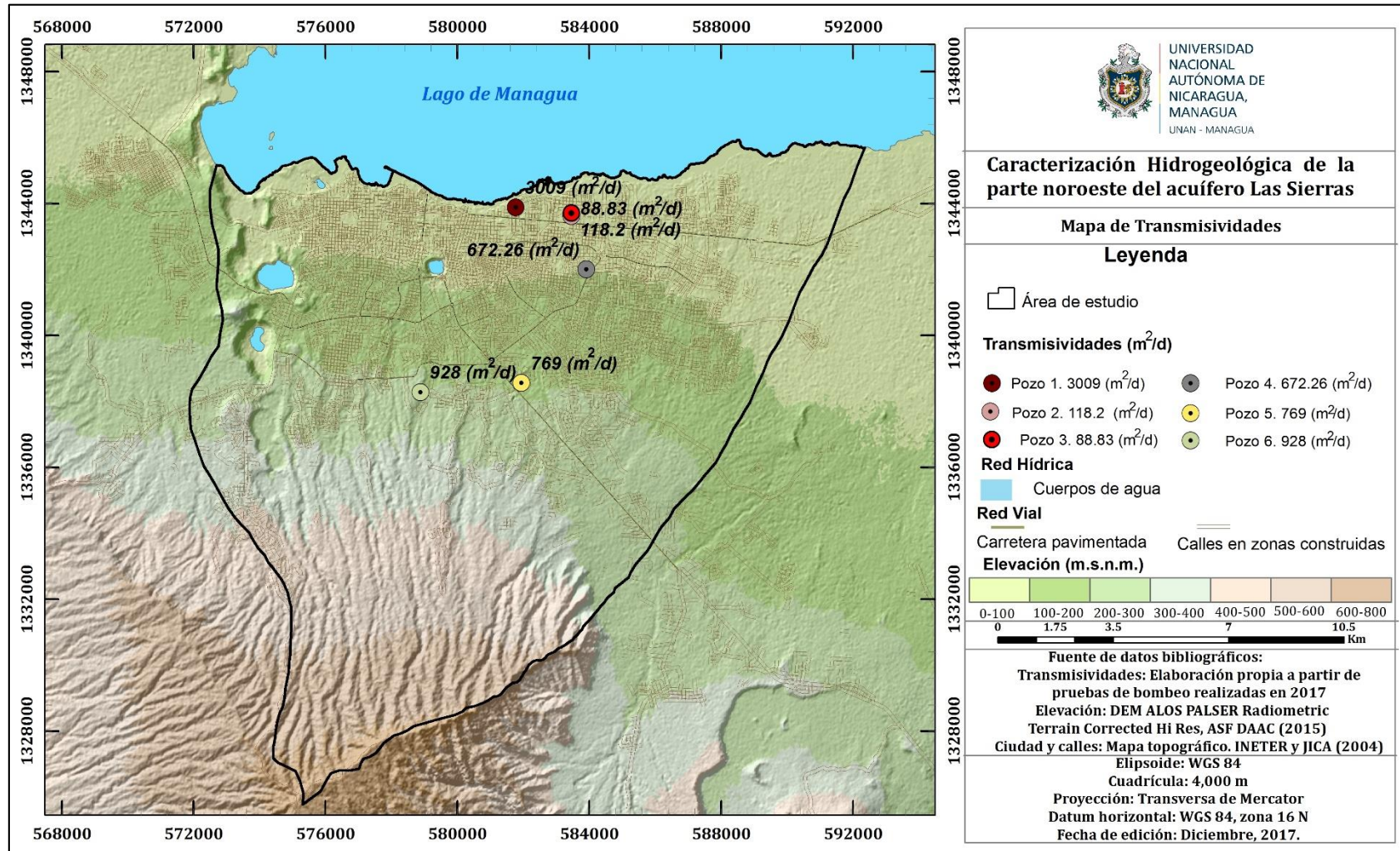


Figura 16. Representación de las Transmisividades en el área de estudio, (Elaboración propia a partir de resultados de pruebas de bombeo, 2017).

#### 4.4.2 Conductividad Hidráulica

La permeabilidad es una de las propiedades hidráulicas de las formaciones rocosas, cuya relevancia en la hidrogeología es de alta trascendencia ya que es la responsable fundamental, junto con el gradiente hidráulico y la porosidad, de la velocidad con que circula el agua a través de las formaciones geológicas, (CNA, 2007).

La permeabilidad o conductividad hidráulica fue calculada a partir de la siguiente fórmula:

$$K = T / b$$

Donde:

**K:** Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/d).

**T:** Transmisividad ( $m^2/d$ ).

**b:** Espesor de acuífero captado (m).

La Transmisividad utilizada es la calculada en la prueba de bombeo, el espesor de acuífero captado no es más que la profundidad total del pozo menos el nivel estático medido a la hora de iniciar la prueba de bombeo, por lo que, el espesor del acuífero que intercepta el pozo 1 es de 79.79 m, el captado por el pozo 2 127.65, el estimado para el pozo 3 es de 99.39 m, para el pozo 4 equivale a 44.08 m, para el pozo 5 el espesor captado es de 162.2 m, para el pozo 6 no se pudo calcular este parámetro ya que no se conoce la profundidad total del pozo (Tabla 12).

De acuerdo a los cálculos realizados se estimó una conductividad de 37.71 m/d para el pozo 1, para el pozo 2 se obtuvo una conductividad de 1.77 m/d, en el pozo 3 se registró un valor de 1.29 m/d, en el pozo 4 se obtuvo un valor de conductividad igual a 15.25 m/d, en el pozo 5 la conductividad corresponde a 4.7 m<sup>7</sup>d. De acuerdo con Fetter, (2001), conductividades entre  $10^{-2}$  y 1 corresponden a medios

hidrogeológicos con litologías correspondientes a gravas bien clasificadas. Por su parte, Custodio y Llamas (2001) indican que tanto los acuíferos con arena limpia, mezclas de grava y arena, son considerados como buenos acuíferos, (Tabla 12).

#### 4.4.3 Capacidad específica

Se llama caudal específico o capacidad específica de un pozo al cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso de nivel producido. El caudal específico no es constante para un determinado caudal, ya que, con el tiempo el descenso aumenta. Sin embargo, los descensos tienden a estabilizarse y por lo tanto el caudal específico también, (Custodio y Llamas, 2001).

La ecuación utilizada para calcular la capacidad específica es la siguiente:

$$q = Q / sp$$

Donde:

**q**: Capacidad específica (m<sup>3</sup>/d/m).

**Q**: Caudal de agua bombeado (m<sup>3</sup>/d).

**sp**: Descenso medido en el pozo o abatimiento (m).

El abatimiento total en el pozo 1 fue de 0.41 m y el caudal utilizado fue de 1271.1 m<sup>3</sup>/d, equivalentes a 233.2 gpm. De acuerdo a los cálculos realizados para la capacidad específica del pozo 1, se estimó un valor de 3,100.24 m<sup>3</sup>/d/m, equivalente a 129.17 m<sup>3</sup>/h/m. en el pozo 2 se obtuvo como resultado un valor de 75.68 m<sup>3</sup>/d/m, equivalentes a 3.15 m<sup>3</sup>/h/m, esto como resultado obtenido a partir del caudal de bombeo equivalente a 2301.49 m<sup>3</sup>/d, y un abatimiento de 30.41 m.

Para el pozo 3 se obtuvieron datos iguales a 55.27 m<sup>3</sup>/h/m equivalentes a 2.30 m<sup>3</sup>/h/m, estos se obtuvieron a partir de un caudal de bombeo de 2813.61 m<sup>3</sup>/d, y un abatimiento de 50.90 m. los datos obtenidos en el pozo 4 fueron 379.5 m<sup>3</sup>/h/m los

que equivalen a 15.81 m<sup>3</sup>/h/m, obtenidos a partir de un bombeo de 1836.78 m<sup>3</sup>/d y un abatimiento de 4.82m, mientras que en el pozo 5 se obtuvo una capacidad específica de 420 m<sup>3</sup>/d/m es decir 17.51 m<sup>3</sup>/h/m obtenido a partir de un abatimiento total de 8 m y caudal de bombeo de 3362 m<sup>3</sup>/d, finalmente en el pozo 6 se estimó un valor de 735 m<sup>3</sup>/d/m dicho de otra manera 30,60 m<sup>3</sup>/h/m, con un descenso total en la prueba de 3.45 m bombeando 2534.3 m<sup>3</sup>/d. (Tabla 12).

**Tabla 12.** Resumen de hidráulica de pozos en el área de estudio.

Hidráulica de pozos	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6
Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	3,009.00	118.20	88.83	672.26	769	928
Profundidad del pozo (m):	91.44	91.44	91.44	91.44	268.2	-
Columna de agua (m)	79.79	66.65	68.88	44.08	162.2	-
Abatimiento (m):	0.39	30.41	50.90	4.82	8	3.45
Capacidad específica (m <sup>3</sup> /d/m):	3,259.19	75.68	55.28	381.08	420	735
Conductividad Hidráulica. K (m/d):	37.71	1.77	1.29	15.25	4.7	-
Δs (m):	-	-	-	0.50	0.8	0.5

#### 4.5. Calidad de agua.

Se puede decir que la contaminación del agua es la adición de sustancias alóctonas o microorganismos que deterioran su calidad. La calidad se refiere a la aptitud del agua para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para ingesta del hombre y de los animales, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para recreación. Las principales fuentes de contaminación del agua son las industrias, la agricultura y los desechos domésticos, (Roldán y Ramírez, 2008).



Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud, (OMS, 2006).

Las aguas subterráneas se originan principalmente por exceso de precipitación que se infiltra directa o indirectamente en la superficie del suelo. Como consecuencia, las actividades humanas en la superficie pueden constituir una amenaza a la calidad del agua subterránea. La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes, (Foster *et al.*, 2002).

La preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se refiere principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo, pero un peligro de contaminación significativo puede estar presente también en los acuíferos semiconfinados, si las capas acuitardas confinantes son relativamente delgadas y permeables, (Foster *et al.*, 2002).

#### **4.5.1 Parámetros de Campo.**

Para evaluar la calidad del agua subterránea de los pozos escogidos al azar para la evaluación de la misma, se realizaron medición de parámetros de campo a través de sonda Multiparamétrica marca Hanna, registrándose las siguientes variables: PH, Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales Disueltos (STD), Salinidad y Redox.

Por otra parte es imprescindible conocer las características físico-químicas y bacteriológicas en el recurso, para ello es necesario llevar las muestras de aguas

obtenidas en los pozos al laboratorio para su debido análisis, para ello se procedió a llevar las muestras a laboratorios certificados como son: BENGOCHEA, S.A. Y al Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), cumpliendo con la cadena de custodia establecidas por dichos centros, se analizaron en las muestras los parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

Los resultados obtenidos fueron comparados con las normas de calidad de agua potables de la Organización Mundial de la Salud (OMS), normas del comité coordinador regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE, 1993) y NTON 05-007.98. Tipo 1A para el uso específico del recurso.

En la tabla 13 se muestran los parámetros de campo medidos al momento de recolección de cada muestra, los cuales permiten evaluar a primera instancia la condición del agua para cada sitio.

**Tabla 13.** Parámetros de campo de las aguas del área de estudio.

Nombre	OD	CE	T	pH	Redox	STD	Salinidad ‰
	(mg/l)	( $\mu$ S/cm)	(°C)	(Unidades de pH)	(mv)	(mg/l)	
Pozo 1	-	760	25	6.9	-	470	0.1
Pozo 2	3.07	407	28.56	8.5	-41.6	203	0.18
Pozo 3	1.58	716	28.28	7.74	-34.5	358	0.18
Pozo 4	-	557	28.44	8.14	-	278	0.27
Normas CAPRE	<b>Nr</b>	<b>400</b>	<b>18 a 30</b>	<b>6.5 a 8.5</b>	<b>Nr</b>	<b>1000</b>	<b>Nr</b>
NTON 05 007-98	<b>&gt; 4</b>	<b>Nr</b>	<b>Nr</b>	<b>6.0 a 8.5</b>	<b>Nr</b>	<b>1000</b>	<b>Nr</b>

De acuerdo a los parámetros tomados en campo, los valores de Temperatura y PH se encuentran entre el rango establecidos por las normas CAPRE (Temperatura

entre 18-30 °C y PH entre 6.5-8.5), estas son aptas para el consumo humano, el valor de oxígeno disuelto (OD) para las muestras que se logró obtener valores se consideran aceptables, ya que en aguas subterráneas se considera aguas contaminadas a partir de valores de OD mayores que 5 mg/l-1 (Custodio y Llamas, 2001). La conductividad eléctrica (CE) se encuentra por encima del valor máximo permitido por las normas CAPRE (400  $\mu$ S.cm<sup>-1</sup>), esto se debe a que tienen relación directa con los sólidos totales disueltos y la salinidad, sin embargo, de manera general el agua es apta para consumo humano y/o doméstico.

#### **4.5.2 Análisis de resultados Físico-químicos.**

Los resultados se evaluaron desde el punto de vista fisicoquímico, bajos los criterios de las normas CAPRE, OMS y NTON-05-007-98, establecidas para consumo humano e industrial, (Tabla 14).

**Tabla 14.** Parámetros físico químicos del área de estudio

Parámetro	Unidad de medida	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Norma CAPRE (Valor Máximo Admisible)	NTON 05 007-98
Temperatura	° C	25	25	25	25	18 - 30*	NR
pH	Unidades de pH	6.9	8.02	8.34	8.5	6.5 - 8.5*	6 - 8.5
Turbiedad	NTU		0.4	-	0.4	5	5
Color	Unidades de PtCo		5	-	5	15	15
Conductividad eléctrica	µS/cm	<b>760</b>	<b>459</b>	<b>705</b>	<b>544</b>	400	NR
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	433	263.59	470	352.74	1000	1000
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0.5	91.29	142	83.97	400	400
Sulfatos	mg/L	36.48	21.72	32.64	33.96	250	250
Manganeso	mg/L	0.05		0.07	-	NR	0.5
Hierro Total	mg/L	0.04	0.06	0.05	-	0.3	0.3
Calcio	mg/L	0	20.46	42.2	20.21	100	NR
Magnesio	mg/L	0.12	9.78	12.15	8.16	30	NR
Alcalinidad Total	mg CaCl <sub>3</sub> /L		152	-	176	NR	NR
Cloruros	mg/L	56.37	21.13	50.77	40.32	250	250
Amonio	mg/L		0.0003	-	0.274	0.5	NR
Nitratos	mg/L	97.34	7.16	44.64	26.89	50	10**

Parámetro	Unidad de medida	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Norma CAPRE (Valor Máximo Admisible)	NTON 05 007-98
<b>Carbonatos</b>	mg/L			0	7.2	NR	NR
<b>Nitritos</b>	mg/L			-	-	3***	**
<b>Bicarbonatos</b>	mg/L	216	185.5	243.6	200.15	NR	NR
<b>Hidróxidos</b>	mg/L			-	-	NR	NR
<b>Boro</b>	µg/L			-	-	NR	NR

Los resultados muestran que de acuerdo a las normas establecidas, la mayoría de los parámetros se encuentran en concentraciones por debajo de los límites establecidos para aguas de consumo humano e industrial, a diferencia de la conductividad eléctrica (CE) que se encuentra en todas las muestras por encima del valor máximo admisible (760, 459, 705, 544  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), probablemente es debido a la solubilidad de algunos minerales como el ion Sodio, (Tabla 14)

La Dureza Total como  $\text{CaCO}_3$  de las aguas proviene de sales de cationes metálicos divalentes. Estos iones son capaces de reaccionar con jabón y formar precipitados, o en la presencia de aniones inapropiados, formar sarro en tuberías de agua caliente. Los principales cationes causantes de durezas son los cationes de Calcio y Magnesio, aunque el Estroncio, Hierro y Manganeso también pueden contribuir a la dureza del agua.

**Tabla 15.** Tipo de agua según dureza

Rango de Dureza ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ $\text{CaCO}_3$ )	Descripción
0 – 60	Suaves
61 – 120	Moderadamente duras
121 – 180	Duras
más de 180	Muy duras

La calidad de las aguas en base a la concentración de dureza de  $\text{CaCO}_3$ , se puede inferir que los sitios de aprovechamiento se encuentran clasificados entre los rangos de aguas que van desde suaves a duras (Tabla 15), ya que oscilan de 0 hasta 180, y el resultado de análisis de laboratorio reportan para pozo 1: 0.5  $\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$ , pozo 2: 91.29  $\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$ , pozo 3: 142  $\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$ , pozo 4: 83.97  $\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$ , por tanto el agua aprovechada por los distintos pozos de acuerdo a su dureza es clasificada como agua de buena calidad, (Tabla 16).

**Tabla 16.** Dureza de las aguas del área de estudio.

Calidad del Agua	Rango de dureza
Aguas de buena calidad	Hasta 150 mg de CaCO <sub>3</sub>
Aguas de calidad media	Hasta 300 mg de CaCO <sub>3</sub>
Aguas de calidad aceptable	Hasta 500 mg de CaCO <sub>3</sub>
Aguas difícilmente utilizables	Por encima de 600 mg de CaCO <sub>3</sub>

#### 4.5.3 Análisis de resultados Bacteriológico.

Los microorganismos que conforman el grupo de los Coliformes totales; *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*, viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales; los Coliformes fecales (*Escherichia*) son de origen intestinal (Canosa, 1995). Todos pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales, las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos (Foster *et al.*, 2002).

Los Coliformes fecales se denominan Termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los Coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior (Foster *et al.*, 2002).

Las *E. coli* enteropatógenas son microorganismos entéricos y las personas son el reservorio principal, sobre todo de las cepas de ECEP, ECET y ECEI. El ganado, como las vacas y ovejas y en menor medida, las cabras, los cerdos y los pollos, es

una fuente importante de cepas de ECEH, las cuales también se han asociado con hortalizas crudas, como los brotes de frijoles. Estos agentes patógenos se han detectado en diversos ambientes acuáticos (OMS, 2006).

Para este estudio se tomaron en cuenta cinco pozos tomados aleatoriamente; a diferencia de los análisis físico-químico que se realizaron a cuatro pozos, esto se realizó con la finalidad de conocer el comportamiento de las aguas subterráneas a partir de la interacción con los humanos, ya que los análisis físico-químico y bacteriológicos se realizaron en la parte baja de la ciudad asumiendo que es donde se concentra la mayor cantidad de habitantes y donde los niveles de agua se presentan más someros, por lo tanto están más expuestos a la contaminación.

Sin embargo la quinta muestra para análisis bacteriológico fue tomado en las parte del sur del área de estudio en las cercanías al municipio del Crucero siendo esta la parte más alta y donde los niveles de agua subterránea se presentan a mayor profundidad, por ende, la interacción de las bacterias con los cuerpos de agua presentan mayores limitaciones; Los parámetros evaluados como indicadores de contaminación los siguientes parámetros: Coliformes Totales, Coliformes y Escherichia Coli. Dando como resultado valores por debajo de las normas establecidas, (Tabla 17).

**Tabla 17.** Resultados de análisis de parámetros microbiológicos.

Punto Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes en NMP/100 ml	Escherichia Coli (NMP/100 ml)
Pozo 1			<1.1
Pozo 2	1.10E+00	<1.1	<1.1
Pozo 3	<1.0	-	<1.0
Pozo 4	<1.8	<1.8	<1.8
Pozo 5	<1.1	<1.1	<1.1
<b>NORMA CAPRE</b>	<b>Negativo*</b>	<b>Negativo*</b>	<b>Negativo*</b>



#### 4.6. Hidroquímica.

- **Hidroquímica del área de estudio.**

El carácter hidroquímico define la naturaleza del tipo de agua subterránea, con lo cual, se conoce si esta agua es de zonas de recarga o de descarga dentro de un acuífero, así como el nivel de mineralización de acuerdo a su recorrido y tiempo de tránsito. Estos cambios en la composición química, pueden reflejar un enriquecimiento o un intercambio de iones; y de alguna manera determinar el origen de esa agua en base a su contenido iónico.

Este se obtiene a partir del muestreo de aguas ya sean subterráneas o superficiales de uno o varios sitios, lo cual, va en dependencia de la finalidad del estudio. Las muestras obtenidas en campo se envían al laboratorio en donde se realiza el ensayo físico-químico, esto da como resultado parámetros de calidad, además, de la cantidad de aniones y cationes presentes en las muestras. Una vez obtenidos los resultados, son interpretados con el programa EASY-QUIM, la función de dicho programa es determinar el tipo de agua tomando como base el resultado obtenido en el laboratorio, tomando los aniones con mayor presencia en cada muestra y uniéndolo con los cationes para obtener un tipo de agua determinado.

Dicho programa a su vez genera un diagrama, el cual lleva por nombre, diagrama de PIPER su función es facilitar el entendimiento de los resultados obtenidos para cada muestra, el diagrama de PIPER según Fagundo y González (2005), es un tipo de gráfico hidroquímico donde los triángulos de aniones y cationes ocupan los ángulos inferiores izquierdo y derecho con sus bases alineadas. La parte central del diagrama posee forma de rombo y sobre éste se proyectan los puntos de cada uno de los triángulos por medio de una recta paralela al borde superior del rombo. La intersección de estas dos rectas representa la composición del agua con respecto a una determinada agrupación de aniones y cationes.

Con el fin de comprobar lo establecido por Kránsy y Hecht (1998) en el denominado “Estudio hidrogeológico e hidroquímico de la región del Pacífico de Nicaragua” se realizó un muestreo de fuentes subterráneas las que fueron enviadas al laboratorio para el debido análisis para luego ser interpretados, se tomaron cuatro sitios (Figura 17) al azar de los cuales según los datos obtenidos, el tipo de agua para cada sitio concuerda con el expuesto por Kránsy y Hecht en el Estudio Hidrogeológico y Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua, (1998), (Ver Figura 6 de mapa hidroquímico regional).

A partir de los resultados obtenidos por el laboratorio y la interpretación de los análisis mediante el programa EASY-QUIM del cual, se obtiene el diagrama de PIPER se logró constatar que el tipo de agua predominante en el área de estudio son las Bicarbonatadas Sódicas ( $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ ), ver gráfico 9, lo cual es indicativo de aguas hidroquímicas jóvenes de reciente infiltración y de poca circulación por el acuífero ya que muestran poco enriquecimiento químico.

Estas son aguas con mucha frecuencia carbogaseosas, de sabor ácido, en relación con el gas carbónico, o más bien alcalino en aquellas en las que no hay gas. Su PH es alcalino debido a su contenido de bicarbonatos, y las que no son tan alcalinas como debieran resultar, se lo deben al contenido de gas carbónico que con tanta frecuencia acompaña a este tipo de aguas, (Megías, s.f).

En el siguiente grafico se logra observar el comportamiento hidroquímico del agua en los pozos en estudio, en el cual, se representa la unión de los aniones con los cationes.



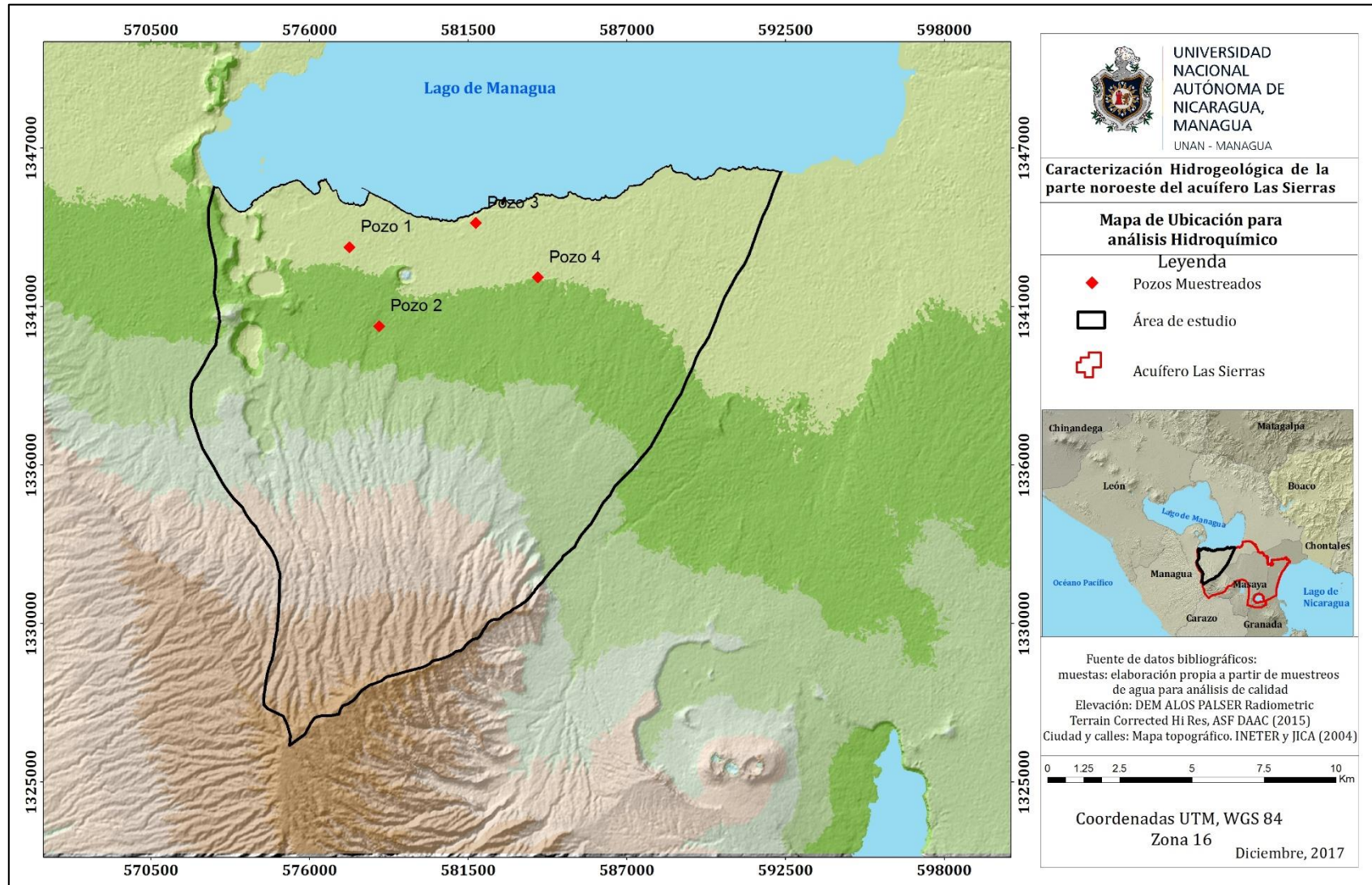


Figura 17. Ubicación de Sitios Muestreados.

#### **4.7. Riesgos potenciales de contaminación.**

De acuerdo a la superficie que ocupen los focos contaminantes, se pueden clasificar en extensivos y puntuales. Los extensivos se pueden originar como consecuencia el uso de pesticidas en la agricultura y la ganadería. Por su parte, los focos puntuales se identifican por las actividades donde es visible la descarga del contaminante, (SUWaR-MARENA, 2000).

El área de estudio está siendo influenciada por ambos tipos de focos contaminantes, desde el punto de vista extensivo se puede tomar en consideración la utilización de agroquímicos utilizados con fines agrícolas o crianza de animales, esto se da en la parte alta del área de estudio donde la afluencia de personas es menor, debido a que la población está concentrada en la parte baja de la ciudad, por ende, los terrenos presentes en esa zona son aprovechados por los pobladores para la siembra de algunos productos perecederos.

Los tipos de producto mencionados anteriormente, se les aplican distintos productos para su bienestar y desarrollos de los mismos. Los productos utilizados generalmente son mal manipulados generando residuos los que a su vez hacen que el acuífero sea vulnerable ante la contaminación, cabe mencionar que las partes altas es donde generalmente ocurren las zonas de recarga y es por ellos que los focos de contaminación de tipo extensivos se consideran como una gran amenaza para el resto del área de estudio.

Por otra parte, los focos de contaminación de tipo puntual juegan un papel fundamental, ya que en la parte baja del área de estudio se aglomera la mayor cantidad de habitantes, a partir de esto, se generan un sinnúmero de factores que de manera directa o indirecta pueden afectar de forma significativa el cuerpo de aguas subterráneas. Uno de los factores a considerar como foco de contaminación puntual es el mal manejo de aguas residuales, tanto domesticas como aguas

negras, muchas veces, estas son enviadas al sistema de drenaje, el cual, su función es transportar las aguas fluviales.

Otro factor de gran importancia es el mal manejo de desechos sólidos, por lo general en ellos se encuentran todo tipo de desperdicios los que a su vez, al hacer contactos con agua cual sea su origen, esta se contamina de manera casi inmediata, esta al infiltrarse puede llegar a contaminar con mayor facilidad el agua subterránea que luego es aprovechada para diferentes fines.

Otro factor a mencionar y no menos importante a los anteriores, es la gran cantidad de gasolineras presentes en el área de estudio, las cuales fueron georreferenciadas y plasmadas en un mapa, cabe mencionar que en la zona estudiada se presentan un sinnúmero de fallas geológicas, las cuales, de darse un manejo inadecuado de los residuos tanto líquidos como sólidos, estas pueden influenciar en gran manera a la contaminación de las fuentes de aguas subterráneas, ya que facilitan la movilidad y escurrimiento de los agentes contaminantes hacia los cuerpos de agua subterráneas, la respuesta del medio al ser de permeabilidad alta podría favorecer en gran manera a que estos agentes potenciales de contaminación alcancen el nivel de agua del acuífero.

Recalcando lo antes mencionado, es por ello que se toman en consideración las gasolineras, ya que estas manejan sustancias que fácilmente pueden contaminar el agua subterránea, esto a partir de fugas de combustible que se puedan ocasionar por el mal manejo del mismo, o por acciones de la naturaleza como pueden ser terremotos, los que pueden hacer colapsar las estructuras en las que se almacenan los combustibles provocando a si el derrame de los mismos, en la figura 18 se presenta un mapa con la distribución de las gasolineras a lo largo y ancho de la ciudad de Managua.

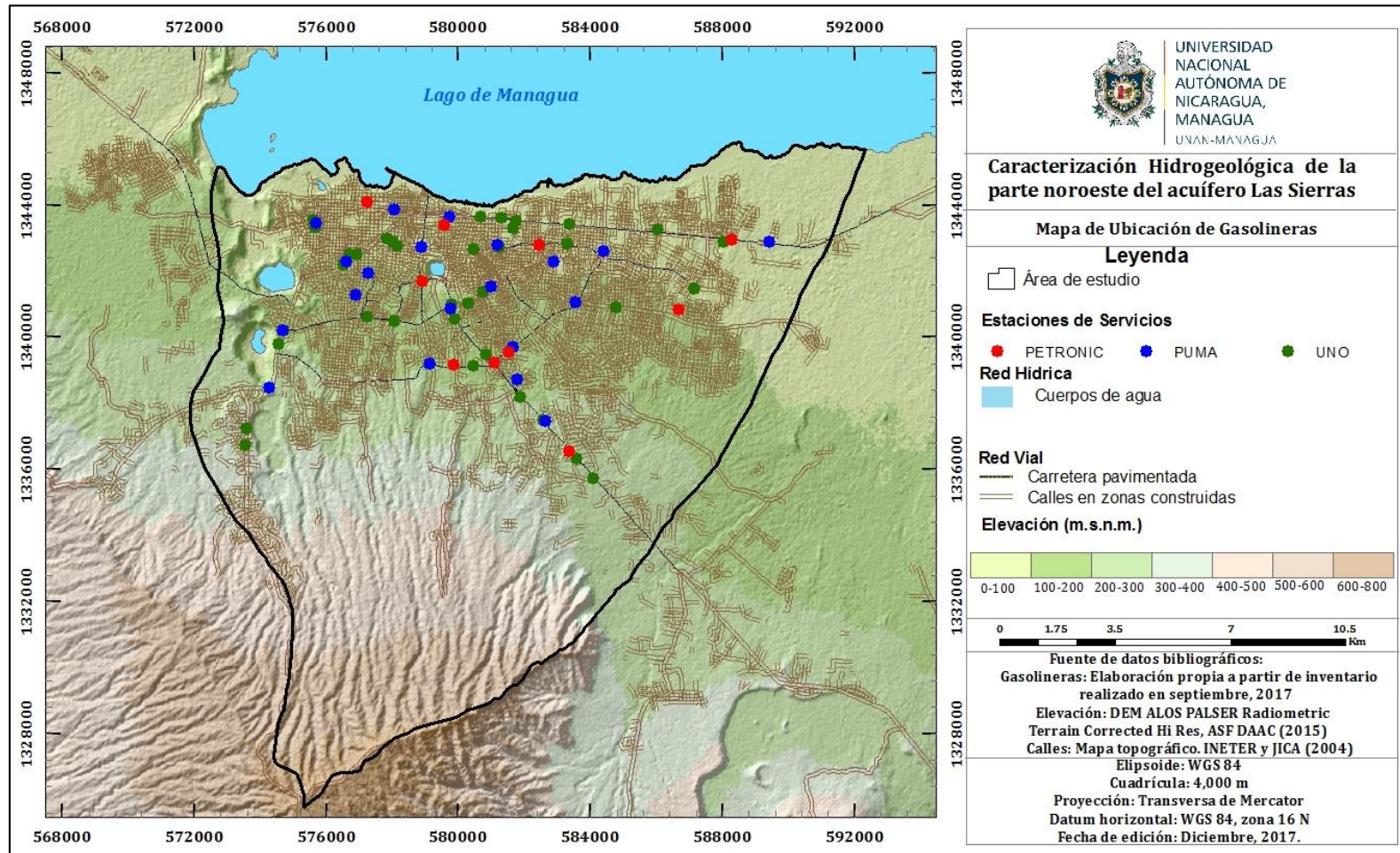


Figura 18. Mapa de ubicación de las gasolineras en el área de estudio, (Elaborado a partir de inventario de gasolineras de Managua, 2017)

## **CONCLUSIONES**

Para el área de estudio la cual posee una extensión de 241 km<sup>2</sup> se estimó un potencial hídrico de 102.907 millones de metros cúbicos anuales, esta agua llega hasta el acuífero producto de las precipitaciones que logran infiltrar hasta el acuífero, es decir que se puede explotar esta cantidad de agua sin afectar el almacenamiento del recurso.

El agua subterránea en el área de estudio se mueve generalmente en dirección sureste-noroeste y suroeste-noreste dividiendo el flujo subterráneo una barrera hidráulica estable. A través de la piezometría se reconoció una sobreexplotación al acuífero en la parte norte del área de estudio, según el inventario realizado en esta zona se presenta una mayor concentración de pozos los cuales extraen grandes volúmenes de agua generando una depresión en la lámina de agua y que el agua subterránea se profundice.

De acuerdo a las pruebas de bombeo realizadas en 6 pozos las Transmisividades en el área de estudio son de moderadas a muy altas con valores mínimos de 88.83 m<sup>2</sup>/día y máximos de 3009 m<sup>2</sup>/día, de lo cual se puede deducir que el acuífero es muy productivo sin embargo las variaciones significativas en el espacio pueden ser un indicativo de sobre explotación del mismo.

Los resultados de los análisis de calidad de agua reflejan que en el área de estudio las aguas tienen propiedades fisicoquímicas aceptables para consumo humano e industrial, la Hidroquímica se caracteriza por ser aguas del tipo bicarbonatadas sódicas, las cuales indican que el agua del área de estudio corresponden a aguas jóvenes de reciente infiltración y de poca evolución geoquímica.



## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar un plan de monitoreo de aguas subterráneas donde se registren los niveles estáticos al menos dos veces al año, una medición en época seca y una en época lluviosa, a fin de determinar las variaciones de los niveles de agua en estas épocas.
- Implementar un plan de protección y conservación de la zona de recarga con el objetivo de preservar las condiciones que favorecen la recarga subterránea y la calidad de las aguas.
- Realizar un control de las extracciones anuales en el área del acuífero y de esta manera generar un balance hidrogeológico y garantizar la explotación adecuada del recurso hídrico.
- Coordinar planes de manejo de desechos sólidos y líquidos ya que hay zonas en el área de estudio principalmente la zona rural donde no se manejan adecuadamente los desechos y estos afectan la calidad de las aguas subterránea.
- Establecer puntos de control de muestreo de agua subterránea a fin de garantizar la calidad de aguas e identificar fuentes potenciales de contaminación.
- En el caso de las gasolineras controlar que la construcción de los depósitos de combustibles tengan el diseño adecuado para evitar derrames y fugas al subsuelo ya que la pluma de contaminación puede llegar hasta el agua subterránea.
- Realizar estudios de prospección geofísica para determinar anomalías asociadas al movimiento de aguas subterránea y a variaciones de propiedades hidráulicas en el acuífero.
- Ejecutar perforaciones exploratorias para determinar el espesor total del acuífero y caracterizar los estratos que componen el acuífero Las Sierras.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Avellán, 2009.** D. Avellán. Tefroestratigrafía de la parte occidental de Managua, Nicaragua: evolución de las estructuras volcánicas de Ticomo, Nejapa y Asososca, tesis de Maestría. Instituto de Geofísica. México: UNAM; 2009.
- **Bice D.C 1985** Quaternary Volcanic stratigraphy of Managua, Nicaragua: Correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposits
- **Bice D. C (1980)** Tephra stratigraphy and physical aspects of recent volcanism near Managua ph.D Thesis, University of California at Berkeley, 422 pp.
- **Bice D.C., 1980.** a eruption rate in Central America estimated from volumes of pumice deposits: American Geophysical union Transactions. V 61, no 6, p.70
- **Bullard, E.C Everett, J.E and Smith A G 1965.** The fit of the continents around the atlantics; A Symposium on continental drift, Phil. Trans. R. Soc. Lond, A 258; 41-51
- **Burbach. G.V; Fehlich, C., Pennington, W,D. and Matumoto, T., 1984.** seismicity and tectonics of the subducted Cocos plate, J. Geophys. Res., 89, 7719 - 7735
- **Case, J.C., Holcombe, T.L and Martin, R.G 1984.** map of geological provinces in the Caribbean region, in the caribbean - South American plate Boundary and Regional tectonics eds Bonini W.E., Hargraves, R.B. and Shagan R., Geol. Soc. Am. Men, 162, 1 - 30
- **Comisión Nacional del Agua. (s.f.).** Diseño, construcción, operación y mantenimiento de pozos de observación para el control de calidad de los acuíferos. . *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* México.

- **Custodio, E. y Llamas, M. (2001).** *Hidrología Subterránea. Tomo I. Segunda edición.* Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- **Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panama y República Dominicana. (1993).** Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano.
- **Dengo G 1985.** Mid America: Tectonic Setting for the pacific margin from southern Mexico to northwestern Columbia. In. Nairn, A.E.M.; Churk.: M; Stehlfifg (Eds): The Ocean Basing and Margins, 5, 123 - 180, plenum press New York.
- **Duncan R.A and Hargraves, R.B. 1984.** plate tectonics evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame, in the Caribbean south American plate Boundary and regional tectonics, eds Bonini W.E. Hargraves, R.B and Shagan R., Geol. Soc. Am. Men., 162, 81 - 84
- **Dengo G. Bohnenberger, O, and Bons S., 1970** tectonics and volcanic m a long. the pacific marginal zone of Central America Geologische Rund - sch, v. 59. no. 3, p, 1215 - 1232
- **Di Marco G., 1995.** Late Cretaceous- early Tertiary paleomagnetic data and a reviced tectono - stratigraphic subdivision of Costa Rica and western Panama, Geol. Soc. Am. Spec. publ., 295; 1-27
- **Espinoza, F.J. 2007.** Noetectonia de la falla Nejapa, porcion oeste del Graben de Managua, Nicaragua. Tesis de maestría. México: UNAM; 2007
- **Frischbutter, (sf)** A Geoforschungs zentrum Postdam, Telegrafenberg. D-1447 3 Potsdam, Germany: Email: fribu@gfz-potsdam.de
- **Fenzl. (1989).** *Geografía, Clima, Geología e hidrogeología.* Nicaragua: Universidad Federal de Pará.
- **Fagundo, J. y González, P. 2005.** *Hidrogeoquímica.* Ministerio de Salud Pública. Habana, Cuba.


- **Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. y Paris, M., 2002.** Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales.
- **Frischbutter. A (2002)** Structure of the Managua graben Nicaragua, from remote sensing images, Geoforschungstentrum Rustdam, Potsdam, Germany
- **Freundt A. S. Kutterolf, H. Wehrmann, H. Schmincke, W. 2006 Strauch.** Eruption of the dacite to andesite zoned Mateare Tephra, and associated tsunamis in lake Managua Nicaragua. Journal Volcanology and Geothermal Research. 2006; vol. 149: pp. 103-123
- **Frischbutter. A.2002** structure of Managua Graben Nicaragua, from remote sensing images Geofísica internacional. 2002., vol. 41 (2): pp. 87. 102
- **Girard, G, Van, B. Wyk Vries.** The Managua graben and Las Sierras-Masaya volcanic complex (Nicaragua); pull apart localization by an intrusive complex: results from analogue modeling Journal of volcanology and Geothermal Research 20051443757
- **Hodgson, V.G. 1978.** Geología de Nicaragua. Servicio geológico Nacional. Managua, Nicaragua. Nicaragua. 105 P
- **Hodgson, G. 2000.** *Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- **Hem, J. s.f.** *Study and interpretation of Chemical Characteristic of Natural Water.* U.S.A.
- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2005.** *Clasificación climática de Nicaragua.*
- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2001.** *Zonas de amenaza sísmica de Nicaragua*
- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2003.** *Mapa de amenaza por inundación de Managua y sus alrededores.*
- **INETER, 2003.** Zonas de inundación de Managua y sus alrededores.

- **INETER, 2004.** Mapas topográficos del pacifico de Nicaragua.
- **INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003.** Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala.106 p.
- **Kuang S, J, 1971** estudio geológico del pacífico de Nicaragua: Nicaragua Catastro e inventario de recursos Naturales, informe geológico, no. 3 101 p
- **Kutterolf et al., 2007 S. Kutterolf, A. Freundt, W. Pérez, H. Wehrmann, H.U. Scmincke.** Late Pleistocene to Holocene temporal sucession and magnitudes of highly – explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2007; 163: pp. 55-82
- **Krásný, J. y Hecht G. 1998.** *Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la región del Pacífico de Nicaragua.* COSUDE, INETER y GTZ. Managua, Nicaragua.
- **McBirney. A. R., Willian H., 1964** The origen of the Nicaraguan Depression. Bull. Volcanol, 27, 63.
- **McBirney A. T and H Willian 1965** the volcanic history of Nicaragua. Univ. Calif. Publ. Geol. Sci, 55, 65, pp
- **Ministerio agropecuario y forestal (MAGFOR). 1987.** Mapa Agroecológico de Nicaragua
- **Molnar, p, and L.R Sykes,** Tectonics of the Caribbean and middle America region. from focal mechanisms and seismicity, Geol, soc. Am, Bull, 80, 1639 - 1684, 1969
- **Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. 2000.** Vulnerabilidad Hidrológica del Acuífero de Managua. Proyecto Uso Sostenible de los Recursos Hídricos (SUWaR-Nicaragua). Managua, Nicaragua.
- **Megías, A., (s.f).** Aguas bicarbonatadas. Tomado de la web. <http://galatermal.es/cmsms/uploads/Publicaciones%202010/TermSoc.Aguas%20bicarbonatadas.pdf>

- **Martínez, M. 2012.** *Análisis Morfoestructural del graben de Managua y sus alrededores.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- **OMS, 2006.** Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua Potable. Primer apéndice a la tercera edición.
- **Obando, T. E. (2009).** *Contexto Geológico y particularidades geotécnicas de la ciudad Capital Managua (Nicaragua).* Managua Nicaragua.
- **Parsons Corporation, 1972,** the geology of western Nicaragua: Nicaragua Tay., improvement and Natural Resources inventory proyect final Technical Report, Volume IV
- **Peraldo, G. and Montero, W., 1999.** Sismología histórica de América Central - 347. Pags. IPGH, México
- **Roldán, G. y Ramírez, J. 2008.** *Fundamentos de Limnología Neotropical.* Universidad de Antioquía, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias. 2da Edición. Colombia.
- **Schosinsky, G. 2007.** *Calculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídricos de suelos.* Revista Geológica de América Central. San José, Costa Rica.
- **Weinberg, R. F, 1992.** Neotectonic development of western Nicaragua, Tectonics, 11, 1010- 1017; Washington
- **Woodward-Clyde Associates (1975)** investigation of active faulting in Managua, Nicaragua, and vicinity. Final report to vice Ministerio de planificación urbana, Gobierno de la Republica de Nicaragua.

# **ANEXOS**


## Anexo 1. Datos Climáticos.

 <b>INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES</b> <b>DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA</b> <b>RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL</b>													
Estación:	LA PRIMAVERA										Código:	69046	
Departamento:	Managua										Municipio:		
Latitud:	12°01'08"										Longitud:	86°14'55"	
Años:	1970-2012										Elevación:	600 msnm	
Parámetro:	Precipitación (mm)										Tipo:	PV	
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
2002	15.7	11.5	1.5	3.5	693.0	299.6	213.6	132.9	450.4	239.1	64.9	6.2	2,131.90
2003	0.0	4.7	21.6	18.1	160.0	417.7	164.8	163.9	171.8	376.6	57.8	38.1	1,595.10
2004	32.0	4.5	12.6	96.3	299.7	255.4	352.0	100.2	272.2	250.5	94.6	6.7	1,776.70
2005	1.3	3.0	99.3	111.7	392.9	403.0	306.3	301.2	519.9	700.7	110.7	14.3	2,964.30
2006	47.6	12.4	11.7	0.0	101.5	321.4	190.6	97.5	147.5	282.0	47.9	14.5	1,274.60
2007	4.8	3.4	0.0	21.8	280.2	168.7	139.9	327.8	280.6	555.2	76.5	55.5	1,914.40
2008	19.9	0.0	11.0	23.6	369.0	223.0	286.2	259.5	436.6	732.8	10.2	11.6	2,383.40
2009	4.8	0.3	0.0	0.0	258.7	227.7	126.9	96.0	78.8	273.6	101.1	16.7	1,184.60
2010	0.0	3.0	0.0	81.8	297.8	236.2	295.9	500.9	602.7	146.5	87.3	5.2	2,257.30
2011	8.6	0.7	3.8	4.4	117.4	212.8	421.7	213.1	291.3	951.4	92.8	46.2	2,364.20
2012	19.5	7.6	0.2	58.0	236.2	209.2	129.1	234.8	152.8	213.6	29.4	25.1	1,315.50
<b>Suma</b>	<b>154.2</b>	<b>51.1</b>	<b>161.7</b>	<b>419.2</b>	<b>3206.4</b>	<b>2974.7</b>	<b>2627.0</b>	<b>2427.8</b>	<b>3404.6</b>	<b>4722.0</b>	<b>773.2</b>	<b>240.1</b>	<b>21162.0</b>
Media	14.0	4.6	14.7	38.1	291.5	270.4	238.8	220.7	309.5	429.3	70.3	21.8	1923.8
Max	47.6	12.4	99.3	111.7	693	417.7	421.7	500.9	602.7	951.4	110.7	55.5	2964.3
Min	0	0	0	0	101.5	168.7	126.9	96	78.8	146.5	10.2	5.2	1184.6

Estación:	San Isidro de la Cruz V.										Código:	69048	
Departamento:	Managua										Municipio:	SAN ISIDRO DE LA CRUZ V.	
Latitud:	12°05'06"										Longitud:	86°15'36"	
Años:	2002-2012										Elevación:	290 msnm	
Parámetro:	Precipitación (mm)										Tipo:	PV	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
2002	0	0	0	0	572.7	142.4	166	72.9	NA	NA	NA	NA	954
2004	0	0	0	0	162.5	134	128.3	55.1	181.7	107.6	40.8	0	810
2005	0	0	18.2	52	211.7	257.5	82.4	189	214	199.3	0	5.5	1229.6
2006	704	0	0	0	56.6	223.6	227	98.7	179.5	196.8	15	0	1701.2
2007	0	0	0	13.5	114.1	141.8	56.6	323.9	176.4	248.2	56.4	18.9	1149.8
2008	8.8	0	0	13.6	264.8	28	259.7	225.5	298.1	505.1	0.5	0	1604.1
2009	0	0	0	0	211.5	169.3	47.4	60.9	64.6	218.3	58.7	8.5	839.2
2010	0	0	0	149.2	307.8	184.5	191.1	395.4	413	53.4	21.6	0	1716
2011	3.9	0	0	27.8	49.6	23.1	NA	NA	311	404.2	69.1	8.5	897.2
2012	0	0	0	20.8	27.8	207.6	56.8	192	124.5	129.9	21.6	3	784



**Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras**

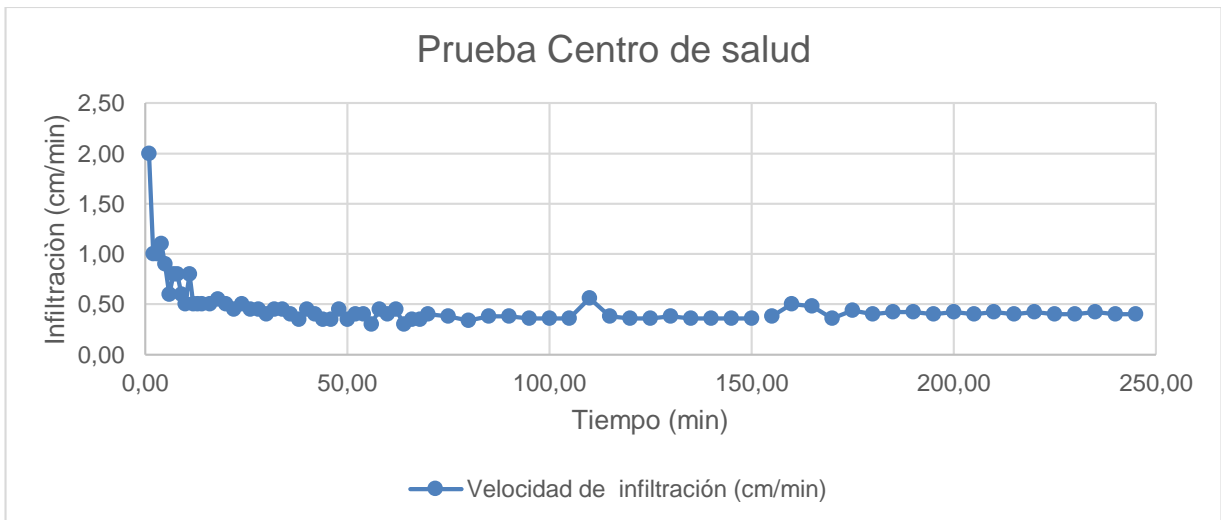
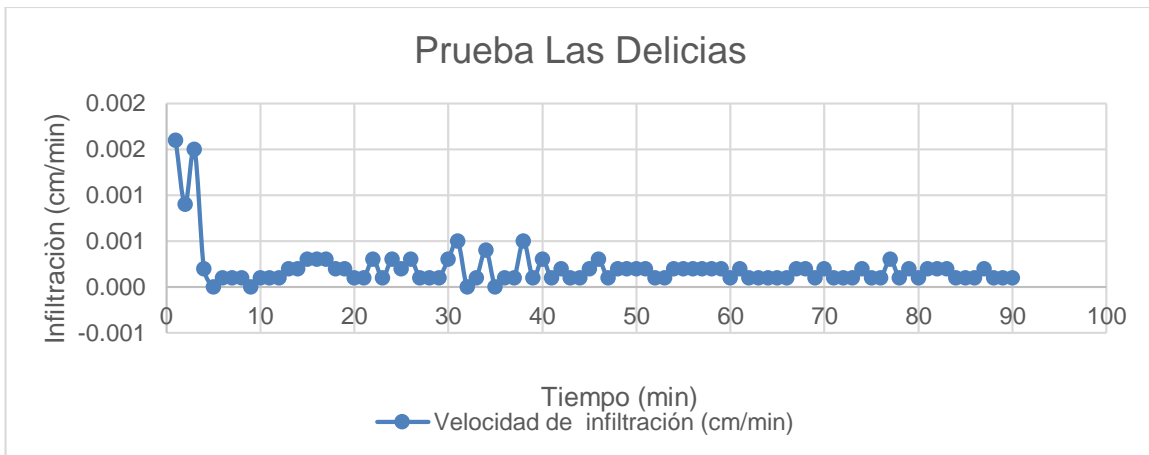
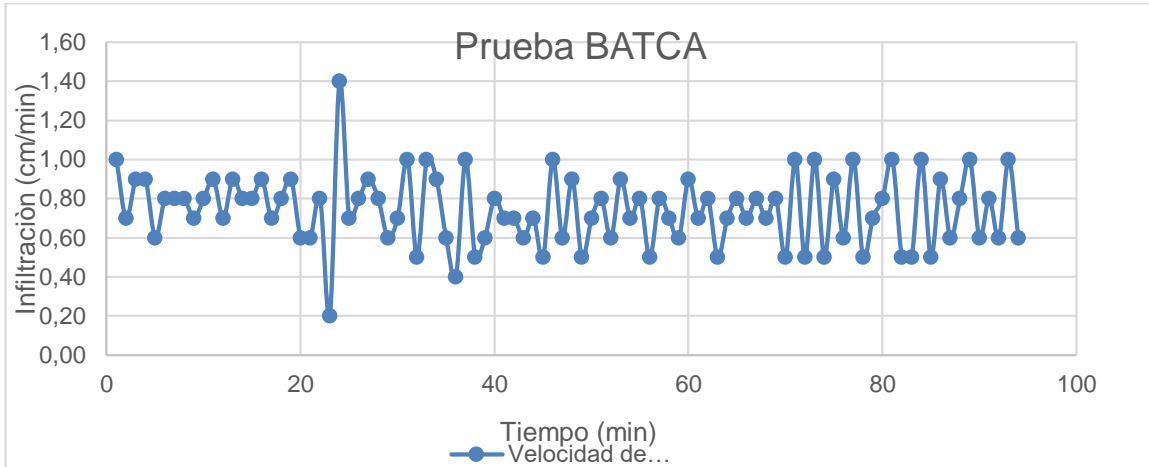
 <b>INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES</b> <b>DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA</b> <b>RESUMEN METEOROLOGICO MENSUAL</b>													
<b>Estación: - EL CAMPBELL / EL CAMPBELL</b>									<b>Latitud: 12° 14' 48" N</b>				
<b>Código: 69 139</b>									<b>Longitud: 86° 13' 50" W</b>				
<b>Año: 2001 - 2015</b>									<b>Elevación: 60 msnm</b>				
<b>Parámetro: precipitación (mm)</b>									<b>Tipo: HMO</b>				
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Suma</b>
2001	2.8	2.2	0.0	3.9	137.1	91.6	90.8	160.4	350.2	192.0	95.0	0.0	<b>1126.0</b>
2002	0.9	0.6	0.0	0.0	422.1	191.9	114.7	121.9	237.7	132.3	24.1	0.0	<b>1246.2</b>
2003	0.0	0.0	20.8	16.9	157.6	389.2	92.7	84.6	144.0	215.9	126.1	0.6	<b>1248.4</b>
2004	5.5	0.3	0.8	1.8	143.2	88.7	120.6	83.3	125.0	215.1	27.8	0.0	<b>812.1</b>
2005	0.0	0.0	7.1	28.6	330.8	233.0	92.7	176.2	148.3	305.5	81.7	0.0	<b>1403.9</b>
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	108.2	108.7	138.2	60.9	130.7	129.8	33.3	0.0	<b>709.8</b>
2007	0.0	0.0	0.0	12.1	314.8	98.6	146.9	192.3	325.2	352.4	51.5	18.5	<b>1512.3</b>
2008	1.7	0.2	0.5	1.4	258.1	151.7	275.3	173.6	217.1	435.6	1.8	0.5	<b>1517.5</b>
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	307.6	186.1	81.7	118.2	108.1	156.8	63.7	14.3	<b>1036.5</b>
2010	0.0	0.0	0.0	35.9	179.2	281.8	230.4	335.7	365.0	254.4	93.5	0.0	<b>1775.9</b>
2011	3.3	0.0	0.3	9.7	204.6	168.9	466.7	98.2	431.9	316.0	39.6	13.4	<b>1752.6</b>
2012	2.3	0.3	0.0	85.1	232.3	175.7	125.7	159.8	132.9	166.7	5.6	4.3	<b>1090.7</b>
2013	0.8	1.1	0.0	0.0	85.7	130.1	107.8	57.1	509.0	110.9	103.8	10.0	<b>1116.3</b>
2014	3.0	0.2	0.0	0.0	28.8	53.6	52.5	198.4	145.4	220.9	36.2	0.2	<b>739.2</b>
2015	0.0	0.0	1.8	61.2	48.2	460.0	73.2	68.7	97.0	115.0	61.8	0.4	<b>987.3</b>
2016	0.0	0.0	0.2	14.8	182.0	228.5	34.4	51.4	106.0	160.3	22.8	28.6	<b>829.0</b>
<b>SUMA</b>	<b>20.3</b>	<b>4.9</b>	<b>31.3</b>	<b>256.6</b>	<b>2958.3</b>	<b>2809.6</b>	<b>2209.9</b>	<b>2089.3</b>	<b>3467.5</b>	<b>3319.3</b>	<b>845.5</b>	<b>62.2</b>	<b>18903.7</b>
<b>MEDIA</b>	<b>1.4</b>	<b>0.3</b>	<b>2.1</b>	<b>17.1</b>	<b>197.2</b>	<b>187.3</b>	<b>147.3</b>	<b>139.3</b>	<b>231.2</b>	<b>221.3</b>	<b>56.4</b>	<b>4.1</b>	<b>1181.5</b>
<b>MAX</b>	<b>5.5</b>	<b>2.2</b>	<b>20.8</b>	<b>85.1</b>	<b>422.1</b>	<b>460.0</b>	<b>466.7</b>	<b>335.7</b>	<b>509.0</b>	<b>435.6</b>	<b>126.1</b>	<b>18.5</b>	<b>1775.9</b>
<b>MIN</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>28.8</b>	<b>53.6</b>	<b>52.5</b>	<b>57.1</b>	<b>97.0</b>	<b>110.9</b>	<b>1.8</b>	<b>0.0</b>	<b>709.8</b>

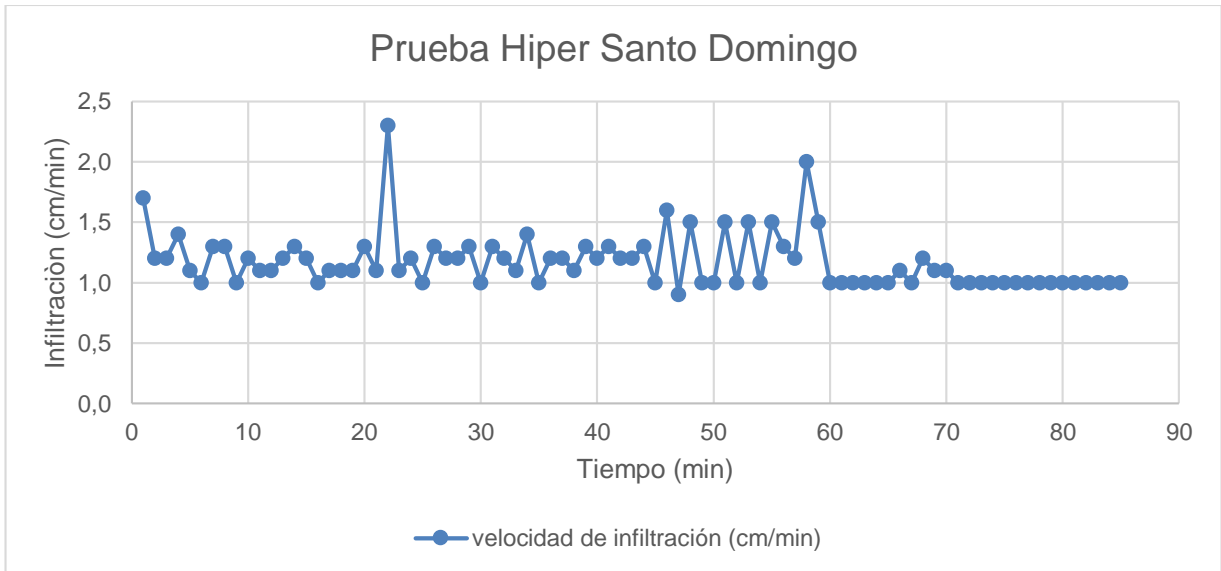
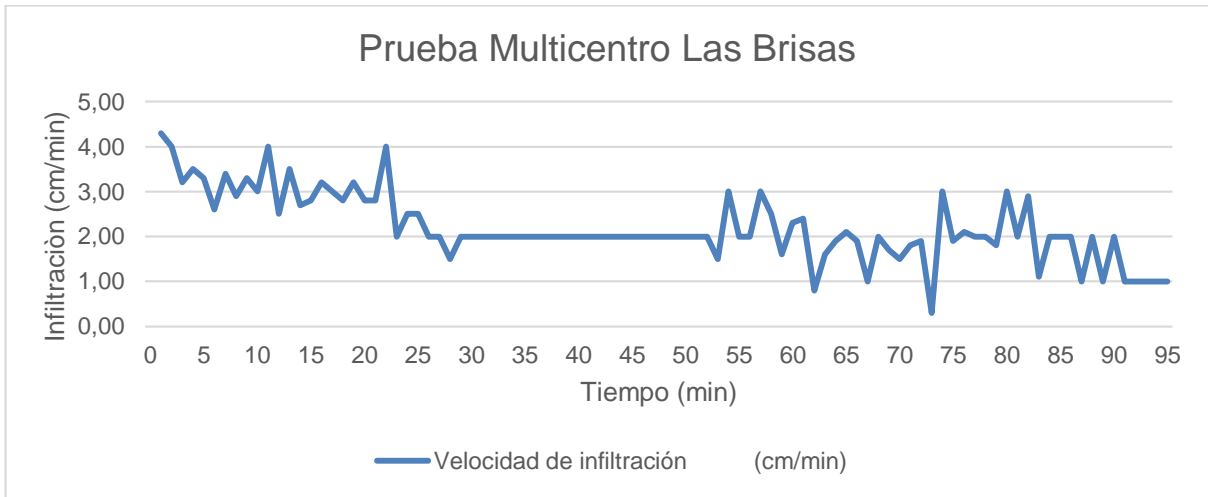
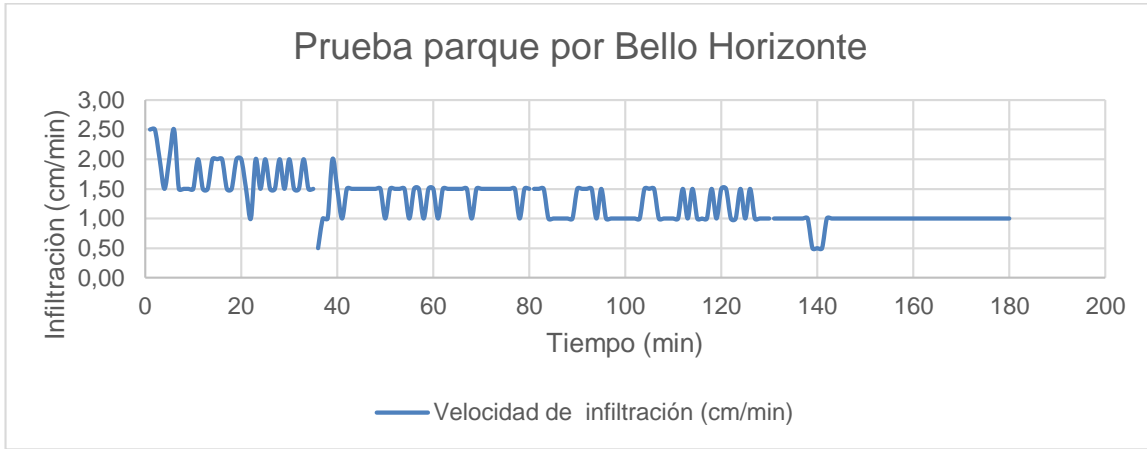
**Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras**

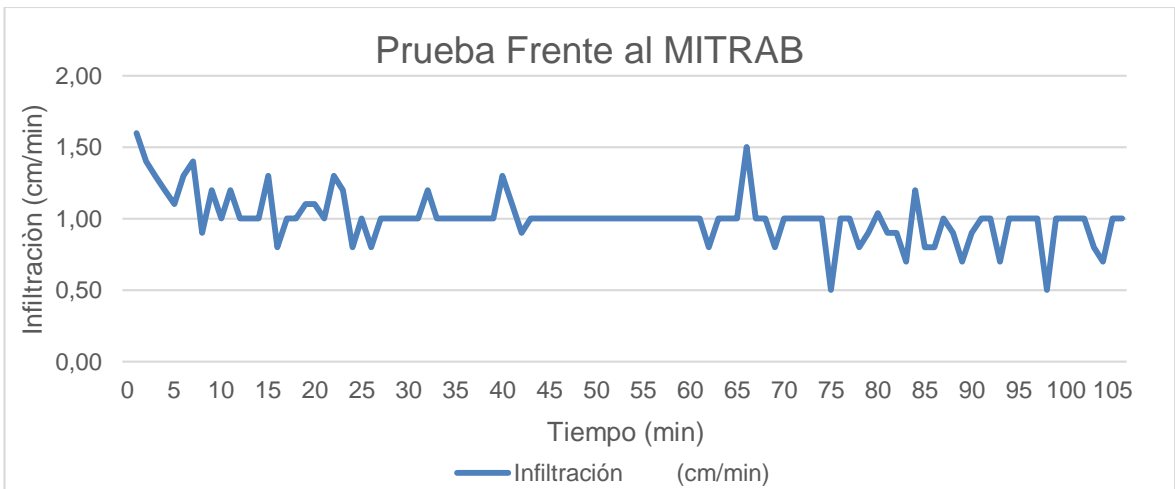
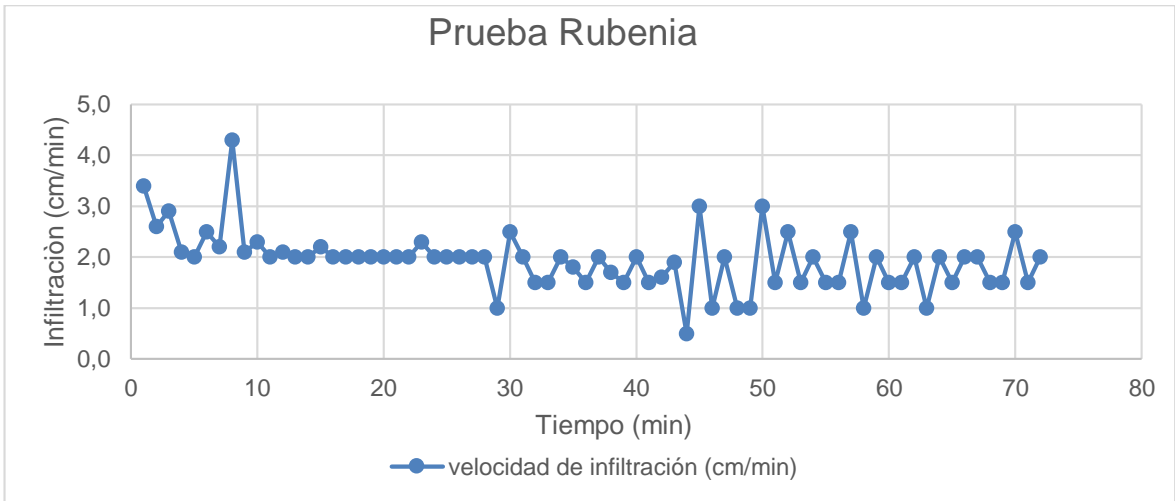
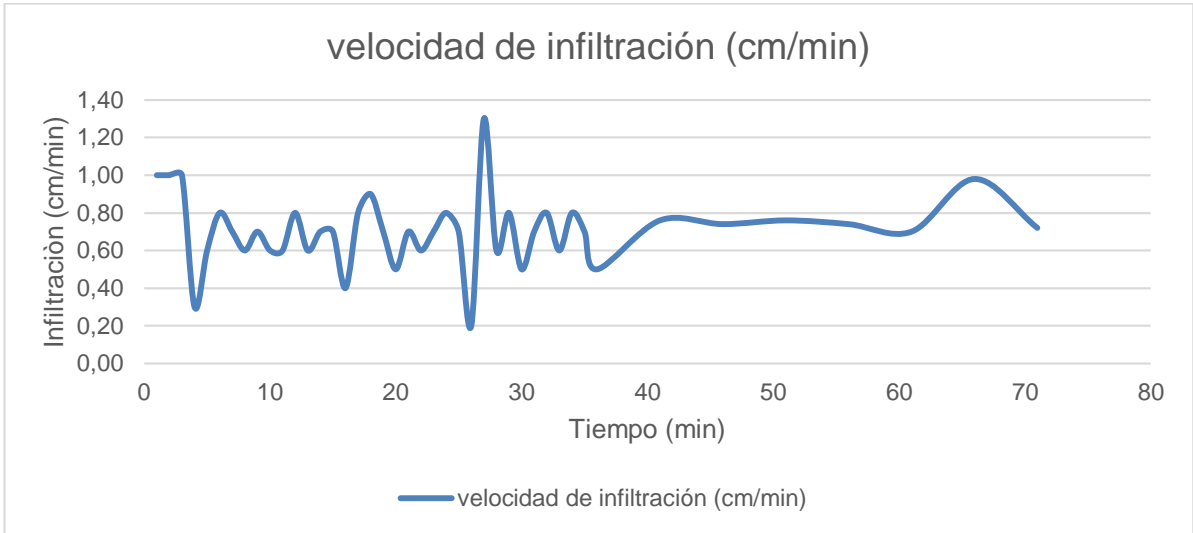
INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL													
<b>Estación:</b>	AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA										<b>Código:</b>	69027	265.6
<b>Departamento:</b>											<b>Municipio:</b>	MANAGUA	
<b>Latitud:</b>	12°08'36"										<b>Longitud:</b>	86°09'49"	604
<b>Años:</b>	1990 - 2014										<b>Elevación:</b>	56 msnm	339
<b>Parámetro</b>	Precipitación (mm)										<b>Tipo:</b>	HMP	
2002	2.3	1.4	0.0	0.5	473.7	98.4	106.3	154.9	237.0	130.8	18.5	0.8	1,224.6
2003	1.1	0.0	9.1	113.7	211.4	260.7	100.0	100.6	151.6	176.6	99.0	5.8	1,229.6
2004	6.9	0.2	1.2	0.0	162.7	140.3	112.2	77.1	62.1	231.7	24.6	0.2	819.2
2005	0.1	0.0	0.0	31.1	289.2	220.1	105.3	196.2	238.7	243.2	70.8	0.4	1,395.1
2006	8.1	0.2	2.7	0.1	40.2	138.2	136.4	74.6	130.9	105.0	44.2	2.7	683.3
2007	0.0	0.0	0.8	25.8	251.9	108.7	140.3	292.0	219.6	300.0	61.3	11.5	1,411.9
2008	2.0	0.7	2.4	3.4	226.1	126.3	276.8	125.7	213.0	455.6	7.2	0.3	1,439.5
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	91.3	171.1	106.6	75.3	107.4	163.2	63.4	17.8	796.1
2010	0.0	0.0	0.0	103.7	293.2	229.7	253.4	331.7	379.2	103.9	80.9	0.2	1,775.9
2011	3.6	0.0	0.2	0.0	200.9	177.5	341.0	70.9	372.9	340.1	43.2	19.4	1,569.7
2012	3.0	1.9	0.0	35.4	349.2	133.5	108.9	169.2	125.7	193.2	2.5	3.5	1,126.0
2013	1.1	0.9	0.0	0.0	60.0	285.3	156.1	85.9	330.2	93.8	49.2	7.9	1,070.4
2014	3.1	0.7	0.0	0.0	31.1	73.2	57.0	196.0	216.5	193.8	54.0	0.2	825.6
2015	0.3	0.1	0.6	53.4	59.4	335.3	35.3	46.2	128.9	105.8	48.5	0.0	813.8
2016	0.0	0.0	0.5	22.2	123.8	237.8	34.6	78.3	159.6	275.1	41.5	13.5	986.9
<b>Suma</b>	<b>31.3</b>	<b>6.0</b>	<b>16.4</b>	<b>313.7</b>	<b>2680.9</b>	<b>2163.0</b>	<b>2000.3</b>	<b>1950.1</b>	<b>2784.8</b>	<b>2730.9</b>	<b>618.8</b>	<b>70.7</b>	<b>15366.9</b>
<b>Media</b>	<b>2.41</b>	<b>0.46</b>	<b>1.26</b>	<b>24.13</b>	<b>206.22</b>	<b>166.38</b>	<b>153.87</b>	<b>150.01</b>	<b>214.22</b>	<b>210.07</b>	<b>47.60</b>	<b>5.44</b>	<b>1182.1</b>
<b>Max</b>	<b>8.1</b>	<b>1.9</b>	<b>9.1</b>	<b>113.7</b>	<b>473.7</b>	<b>285.3</b>	<b>341.0</b>	<b>331.7</b>	<b>379.2</b>	<b>455.6</b>	<b>99.0</b>	<b>19.4</b>	<b>1775.9</b>
<b>Min</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>31.1</b>	<b>73.2</b>	<b>57.0</b>	<b>70.9</b>	<b>62.1</b>	<b>93.8</b>	<b>2.5</b>	<b>0.2</b>	<b>683.3</b>

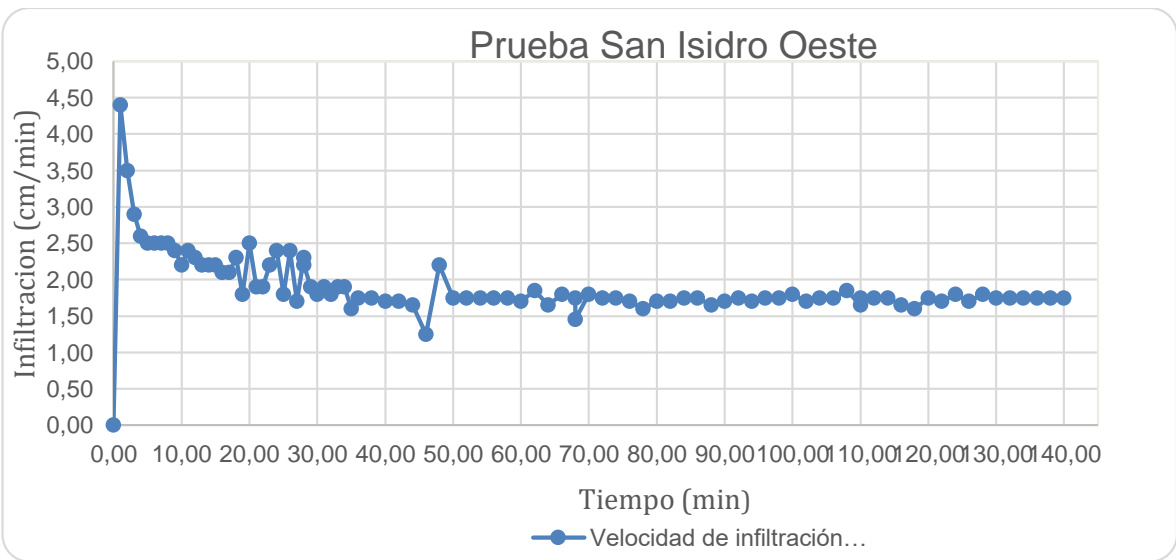
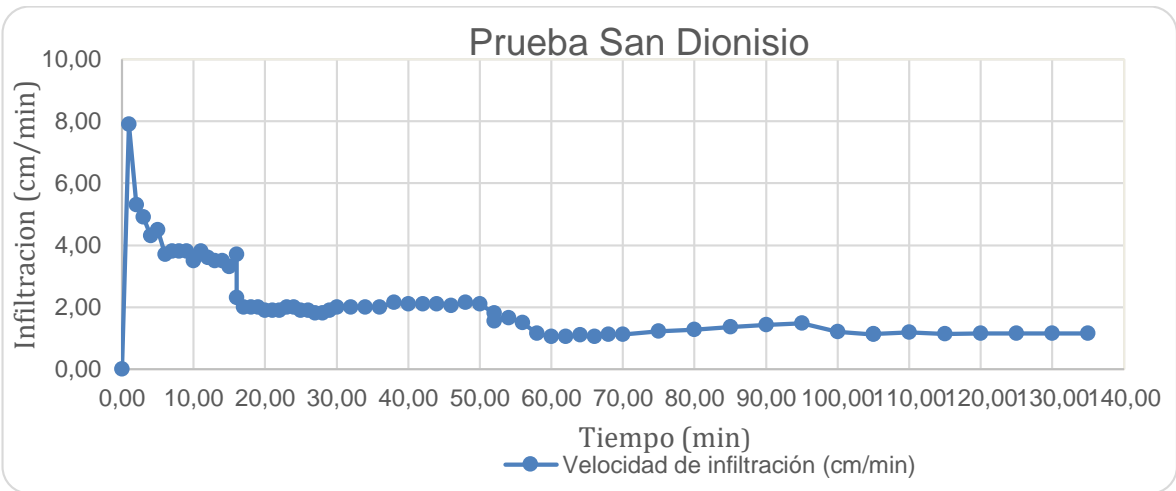
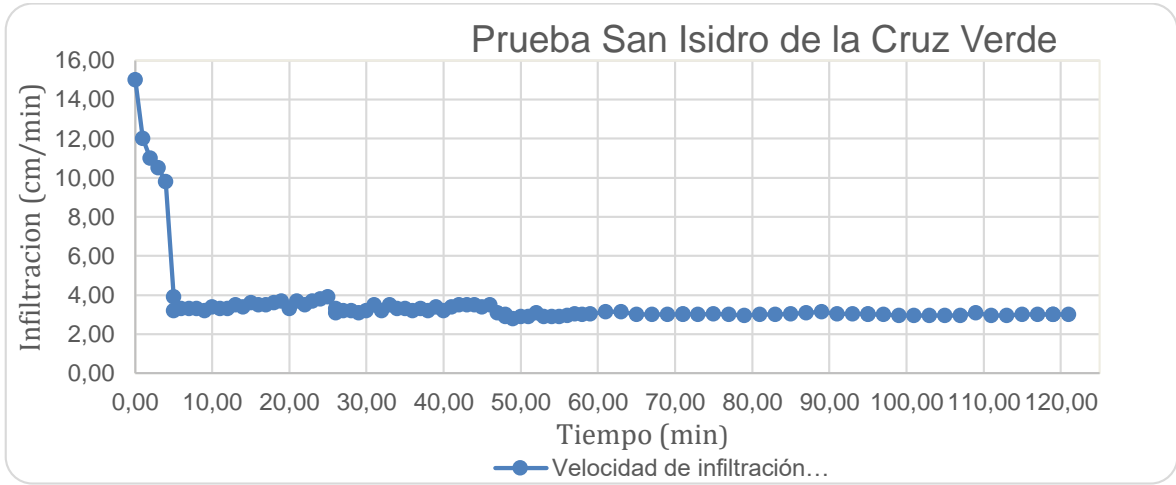
<b>Estación:</b>	AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA										<b>Código:</b>	69027		
<b>Latitud:</b>	12°08'36"										<b>Latitud:</b>	12°08'36"	<b>Longitud:</b>	86°09'49"
<b>Parámetro:</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Media</b>	<b>(C°)</b>							<b>Tipo:</b>	<b>HMP</b>			
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>		
2002	26.9	27.1	28.3	29.1	28.5	27.5	27	27.4	27.1	26.7	26.3	26.7		
2003	26.9	28	28.5	29.6	28.8	26.8	26.9	27	27.3	26.9	26.8	26.3		
2004	26.3	27.1	28.3	29.4	28.3	27.2	26.7	27.3	27.1	27	26.5	26.5		
2005	26.6	27	29.5	30.1	28.5	27	27.4	27.1	26.7	26	26.3	26.4		
2006	26.4	26.7	27.9	29.4	29.2	27.6	27.5	28	27.7	27.4	26.4	27.2		
2007	27.1	27.8	29.1	29.6	28.8	27.8	27.1	27	26.6	26.2	26.4	26.2		
2008	26.4	27	28.1	29.3	28.6	27.1	26.7	27	26.9	26.3	26.4	26.4		
2009	26.6	27	27.8	29.3	29	27.5	27.3	27.4	28.1	27.4	26.8	27.1		
2010	27	28.5	29	29.7	28	27.3	26.9	26.9	26.6	27.2	26	25.1		
2011	26.5	27.5	28	29.3	28.8	27.3	26.7	27.5	27.1	26.3	26.4	26.1		
2012	25.8	26.8	28	29.1	28.4	27.7	27	27.4	27	26.8	26.7	27.1		
2013	27.2	27.6	28.6	30.1	29.4	27.6	26.9	27.3	26.8	27	26.8	26.6		
2014	26.6	27.3	28.8	30	30	28.8	28.8	27.8	27.2	26.7	27	26.9		
2015	27.2	27.7	28.4	30	29.2	28.4	28	28.8	28.4	28	27.7	28.4		
2016	27.7	28.2	29.6	30.5	30.0	27.4	27.6	28.3	27.5	27.1	27.0	26.7		
<b>Suma</b>	<b>346.3</b>	<b>355.4</b>	<b>369.9</b>	<b>384</b>	<b>374.3</b>	<b>357.2</b>	<b>352.9</b>	<b>355.1</b>	<b>352.2</b>	<b>347.9</b>	<b>344.8</b>	<b>344.6</b>		
<b>Media</b>	<b>26.64</b>	<b>27.34</b>	<b>28.45</b>	<b>29.54</b>	<b>28.79</b>	<b>27.48</b>	<b>27.15</b>	<b>27.32</b>	<b>27.09</b>	<b>26.76</b>	<b>26.52</b>	<b>26.51</b>		
<b>Max</b>	<b>27.2</b>	<b>28.5</b>	<b>29.5</b>	<b>30.1</b>	<b>30</b>	<b>28.8</b>	<b>28.8</b>	<b>28</b>	<b>28.1</b>	<b>27.4</b>	<b>27</b>	<b>27.2</b>		
<b>Min</b>	<b>25.8</b>	<b>26.7</b>	<b>27.8</b>	<b>29.1</b>	<b>28</b>	<b>26.8</b>	<b>26.7</b>	<b>26.9</b>	<b>26.6</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>25.1</b>		

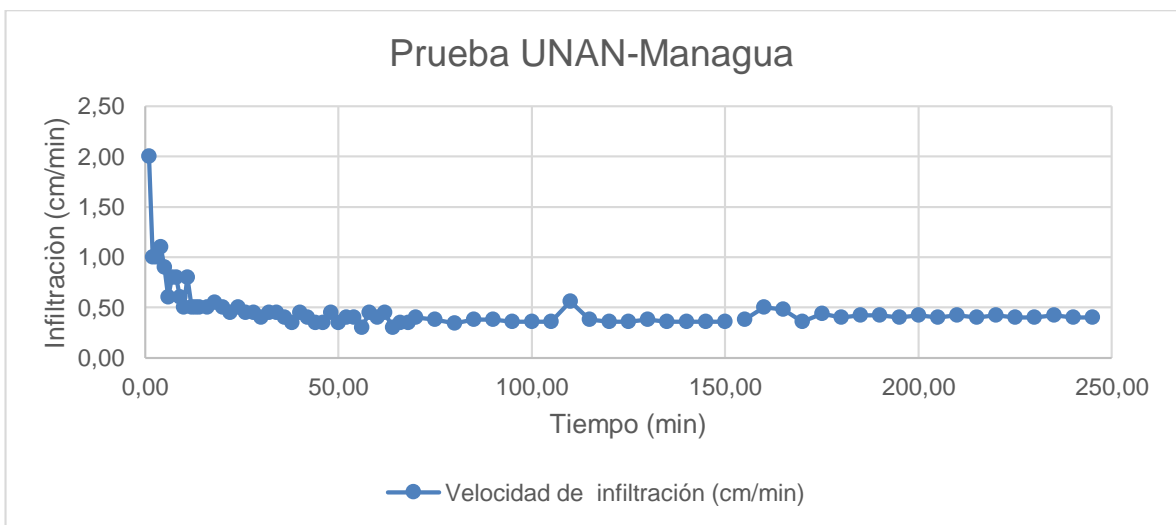
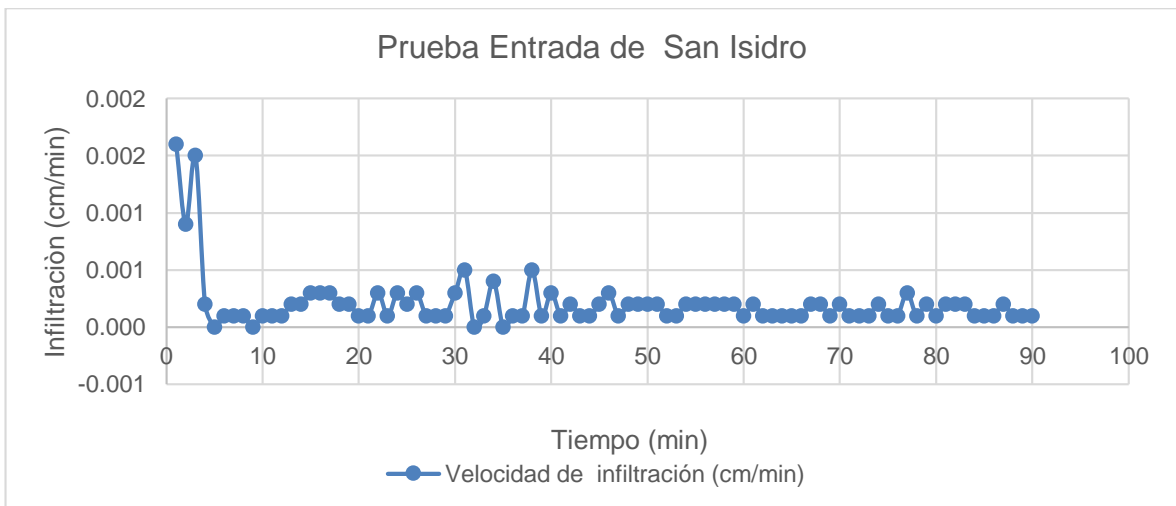
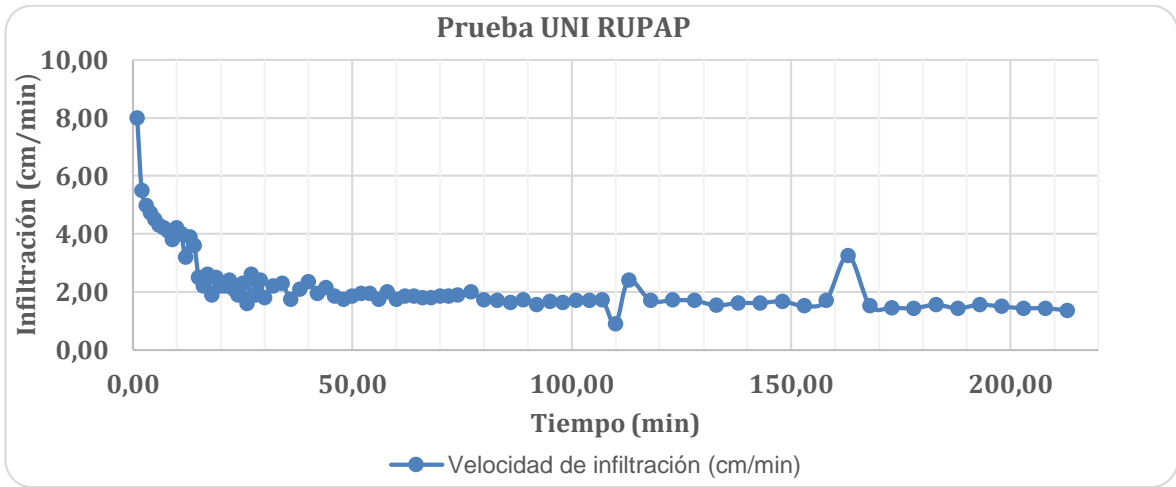
Anexo 2. Graficas de velocidad de infiltración de las pruebas realizadas.

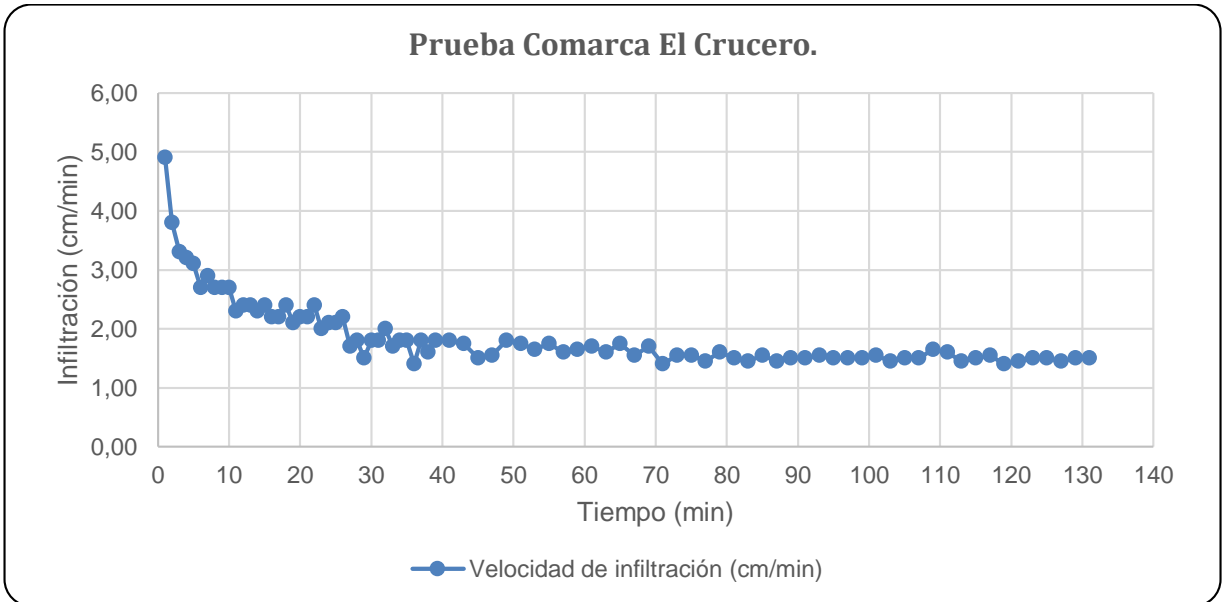
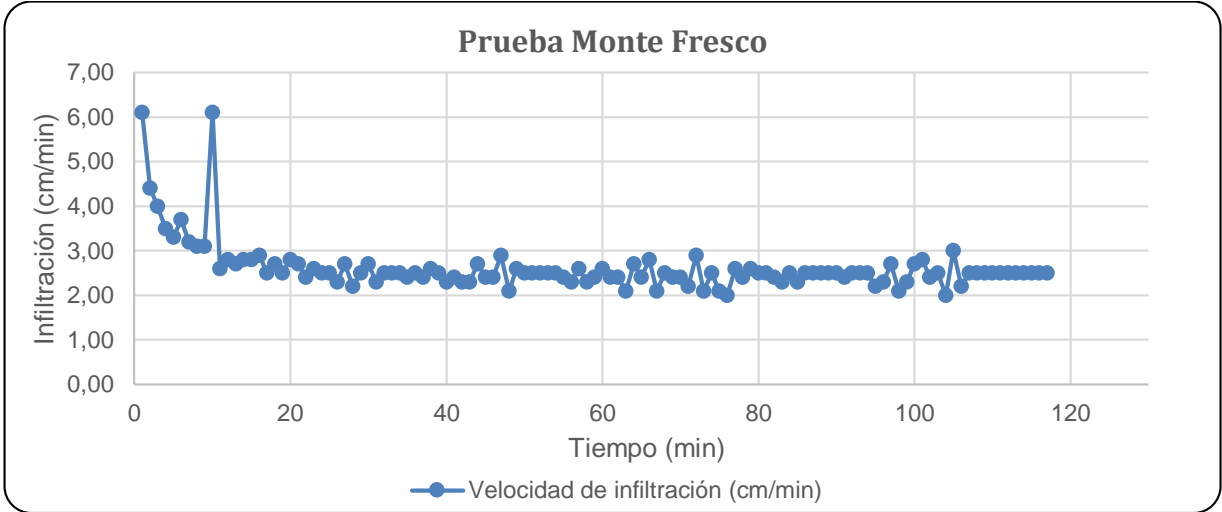














**Anexo 3. Inventario de pozos.**

Código del pozo	Coordenadas		Elevación	NEA (m)	NEA (msnm)
	X	Y			
Pozo 1	589126	1341830	63	13.8	49.2
Pozo 2	589360	1341806	64	21.01	42.99
Pozo 3	589434	1341799	64.2	19.84	44.36
Pozo 4	589531	1341785	63.5	17.81	45.69
Pozo 5	589860	1341697	63.2	10.68	52.52
Pozo 6	587771	1342169	68	31.48	36.52
Pozo 7	588616	1341777	59	18.59	40.41
Pozo 8	590319	1341705	63.7	10.67	53.03
Pozo 9	590204	1341655	64.8	10.77	54.03
Pozo 10	589699	1341478	63.2	13.71	49.49
Pozo 11	581675	1338809	165	94.83	70.17
Pozo 12	580977	1339965	150	81.99	68.01
Pozo 13	580505	1339995	141.04	82.31	58.73
Pozo 14	584606	1337883	215	134.12	80.88
Pozo 15	583044	1340285	129.74	59.45	70.29
Pozo 16	582164	1340143	133	61.28	71.72
Pozo 17	576402	1340482	152	105.79	46.21
Pozo 18	574965	1340854	145.97	112.32	33.65
Pozo 19	586572	1338419	161	87.04	73.96
Pozo 20	587468	1337762	163	92.37	70.63
Pozo 21	579153	1334691	415	309.73	105.27
Pozo 22	587042	1336891	186	102.44	83.56
Pozo 23	584975	1338836	188	108.23	79.77
Pozo 24	583932	1331951	317	202.33	114.67
Pozo 25	583540	1334390	300	170	130
Pozo 26	579203	1337984	214	151.83	62.17
Pozo 27	579457	1333252	392	271.65	120.35
Pozo 28	576751	1340990	138	99.05	38.95
Pozo 29	575572	1342549	92	66.9	25.1
Pozo 30	585340	1339285	154	98.51	55.49
Pozo 31	585677	1342092	95	47.8	47.2
Pozo 32	582721	1338245	240	117.68	122.32
Pozo 33	577557	1339452	182	137.8	44.2
Pozo 34	584975	1340679	124	69	55

*Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras*

Código del pozo	Coordenadas		Elevación	NEA (m)	NEA (msnm)
	X	Y			
Pozo 35	577078	1337992	245	189.91	55.09
Pozo 36	578029	1338257	220	175.47	44.53
Pozo 37	575765	1334180	420	297.14	122.86
Pozo 38	575940	1337029	280	198.17	81.83
Pozo 39	575720	1335641	300	221.7	78.3
Pozo 40	577107	1338722	220	159.27	60.73
Pozo 41	577083	1339066	220	153.86	66.14
Pozo 42	577220	1338475	215	153.81	61.19
Pozo 43	581802	1341471	109	51.92	57.08
Pozo 44	581739	1341370	102	55.88	46.12
Pozo 45	585324	1342242	85	39.63	45.37
Pozo 46	578527	1340517	122	68.47	53.53
Pozo 47	580445	1335470	340	228.87	111.13
Pozo 48	583280	1342747	77.54	28.96	48.58
Pozo 49	577851	1340728	138	91.87	46.13
Pozo 50	578341	1341652	102	62.95	39.05
Pozo 51	579967	1341195	102	47.25	54.75
Pozo 52	586144	1342097	86	41	45
Pozo 53	585415	1339395	152	98.78	53.22
Pozo 54	583218	1340663	128	67.01	60.99
Pozo 55	579724	1341114	103	49.7	53.3
Pozo 56	580795	1337429	247	161.58	85.42
Pozo 57	585587	1341802	99	51.82	47.18
Pozo 58	577147	1340513	143	99.08	43.92
Pozo 59	576414	1342685	89	50.91	38.09
Pozo 60	574861	1343374	62	28.04	33.96
Pozo 61	579648	1341646	91	41.52	49.48
Pozo 62	586551	1339814	132.6	70.12	62.48
Pozo 63	584310	1342490	81	38	43
Pozo 64	581793	1342833	70.79	22.56	48.23
Pozo 65	578700	1343355	61.93	22.36	39.57
Pozo 66	579483	1343289	60	18.29	41.71
Pozo 67	579963	1343224	59.99	18.29	41.7
Pozo 68	574362	1333097	485	277.44	207.56
Pozo 69	582028	1334268	360	246.16	113.84
Pozo 70	586683	1340591	110	52.78	57.22

**Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras**

Código del pozo	Coordenadas		Elevación	NEA (m)	NEA (msnm)
	X	Y			
Pozo 71	587315	1340386	109	60.37	48.63
Pozo 72	589307	1340475	74	20.12	53.88
Pozo 73	589887	1340547	71	17.07	53.93
Pozo 74	581829	1338433	190	106.71	83.29
Pozo 75	574686	1344301	47.93	9.9	38.03
Pozo 76	575839	1344733	41.75	3.1	38.65
Pozo 77	588986	1343851	49.76	3.38	46.38
Pozo 78	573706	1343701	43.75	4.49	39.26
Pozo 79	582163	1340146	129.65	65.7	63.95
Pozo 80	577308	1344102	56.3	17.1	39.2
Pozo 81	573356	1344181	41.43	2.74	38.69
Pozo 82	573356	1344171	41.46	2.74	38.72
Pozo 83	574886	1344311	48.47	13.04	35.43
Pozo 84	573556	1344201	39.17	1.8	37.37
Pozo 85	573556	1344201	39.17	1.7	37.47
Pozo 86	573556	1344201	39.17	2	37.17
Pozo 87	586684	1340591	100.53	54.3	46.23
Pozo 88	576398	1340475	147.16	109.03	38.13
Pozo 89	574966	1340866	145.98	109.25	36.73
Pozo 90	581824	1343180	63.23	21	42.23
Pozo 91	584384	1337935	210	136.94	73.06
Pozo 92	577845	1340728	143.25	91.08	52.17
Pozo 93	585319	1342242	86.48	43.6	42.88
Pozo 94	578374	1341667	95	62.5	32.5
Pozo 95	581835	1338435	187.44	103.35	84.09
Pozo 96	589122	1341832	59.54	19.05	40.49
Pozo 97	583598	1339936	140.26	82.47	57.79
Pozo 98	580816	1337385	247.07	165.9	81.17
Pozo 99	578680	1343347	61.82	21.35	40.47
Pozo 100	579953	1343224	38	17.34	20.66
Pozo 101	574876	1343381	63.49	26.08	37.41
Pozo 102	575949	1336422	285	209.93	75.07
Pozo 103	580438	1335454	302	235.22	66.78
Pozo 104	579988	1341195	102	54.1	47.9
Pozo 105	574584	1339140	201.11	161.04	40.07
Pozo 106	577160	1340524	144.57	103.3	41.27

*Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras*

Código del pozo	Coordenadas		Elevación	NEA (m)	NEA (msnm)
	X	Y			
Pozo 107	586335	1343310	89	30.6	58.4
Pozo 108	586259	1343311	76	28.78	47.22
Pozo 109	577293	1342512	60	52.62	7.38
Pozo 110	585632	1343307	70	29.23	40.77
Pozo 111	586016	1342521	87	40.35	46.65
Pozo 112	586023	1342496	88	44.5	43.5
Pozo 113	586045	1342375	89	43.68	45.32
Pozo 114	589122	1341832	65	19.05	45.95
Pozo 115	578407	1340315	138	122.95	15.05
Pozo 116	578150	1341156	127	114.54	12.46
Pozo 117	577384	1343056	69	45.72	23.28
Pozo 118	577293	1342512	60	52.62	7.38
Pozo 119	577328	1342561	60	53.88	6.12
Pozo 120	575572	1342549	92	66.9	25.1
Pozo 121	576414	1342685	89	50.91	38.09
Pozo 122	579482	1343288	60	18.29	41.71
Pozo 123	578700	1343355	62	22.36	39.64
Pozo 124	574861	1343374	62	28.04	33.96
Pozo 125	578857	1342352	60	19.2	40.8
Pozo 126	576077	1344312	61	35.93	25.07
Pozo 127	575077	1344312	50	19.81	30.19
Pozo 128	575987	1344302	40	1.8	38.2
Pozo 129	574887	1344312	48.5	12.04	36.46
Pozo 130	576007	1344302	61	20.7	40.3
Pozo 131	578427	1341462	86	19.2	66.8
Pozo 132	577157	1344202	53	17.37	35.63
Pozo 133	577157	1343353	73	33.53	39.47
Pozo 134	579007	1342502	85	41.45	43.55
Pozo 135	577959	1341455	131	80.96	50.04

**Anexo 3. Pruebas de bombeo.**

Prueba de Bombeo				
<b>Lugar:</b>	Pozo 1			
<b>Fecha:</b>	17/07/2017			
<b>Coordenadas:</b>	581764	1343896	<b>Elevación (msnm):</b>	56
<b>NEA (m):</b>	11.65		<b>Brocal(m):</b>	
<b>Q (m<sup>3</sup>/d):</b>	1,271.08		<b>Q(m<sup>3</sup>/h):</b>	52.96180175

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
11.65	0	0	0.00	0
11.92	1	1	0.27	0.27
11.94	1	2	0.29	0.02
11.94	1	3	0.29	0.00
11.94	1	4	0.29	0.00
11.95	1	5	0.30	0.01
11.95	1	6	0.30	0.00
11.95	1	7	0.30	0.00
11.95	1	8	0.30	0.00
11.95	1	9	0.30	0.00
11.95	1	10	0.30	0.00
11.95	2	12	0.30	0.00
11.95	2	14	0.30	0.00
11.96	2	16	0.31	0.01
11.96	2	18	0.31	0.00
11.96	2	20	0.31	0.00
11.96	2	22	0.31	0.00
11.96	2	24	0.31	0.00
11.96	2	26	0.31	0.00
11.97	2	28	0.32	0.01
11.97	2	30	0.32	0.00
11.97	3	33	0.32	0.00
11.97	3	36	0.32	0.00
11.98	3	39	0.33	0.01
11.98	3	42	0.33	0.00

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
11.98	3	45	0.33	0.00
11.98	3	48	0.33	0.00
11.98	3	51	0.33	0.00
11.98	3	54	0.33	0.00
11.98	3	57	0.33	0.00
11.98	3	60	0.33	0.00
11.98	5	65	0.33	0
11.98	5	70	0.33	0.00
11.98	5	75	0.33	0.00
11.98	5	80	0.33	0.00
11.99	5	85	0.34	0.01
11.99	5	90	0.34	0.00
11.99	5	95	0.34	0.00
11.99	5	100	0.34	0.00
11.99	5	105	0.34	0.00
11.99	5	110	0.34	0.00
11.99	5	115	0.34	0.00
11.99	5	120	0.34	0.00
11.99	10	130	0.34	0.00
11.99	10	140	0.34	0.00
11.99	10	150	0.34	0.00
11.99	10	160	0.34	0.00
12.00	10	170	0.35	0.01
12.00	10	180	0.35	0.00
12.00	10	190	0.35	0.00
12.00	10	200	0.35	0.00
12.00	20	220	0.35	0.00
12.00	20	240	0.35	0.00
12.00	20	260	0.35	233.80
12.00	20	280	0.35	0.00
12.00	20	300	0.35	0.00
12.00	30	330	0.35	0.00
12.00	30	360	0.35	0.00
12.01	30	390	0.36	0.01
12.01	30	420	0.36	0.00

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
12.01	60	480	0.36	0.00
12.02	60	540	0.37	0.01
12.02	60	600	0.37	0.00
12.02	60	660	0.37	0.00
12.02	60	720	0.37	0.00
12.03	60	780	0.38	0.01
12.04	60	840	0.39	0.01
12.04	120	960	0.39	0.00
12.04	120	1080	0.39	0.00
12.05	120	1200	0.40	0.01
12.05	120	1320	0.40	0.00
12.06	120	1440	0.41	0.01

Prueba de Bombeo				
<b>Lugar:</b>	Pozo 2			
<b>Fecha:</b>	27/09/2017			
<b>Coordenadas:</b>	583446	1343720	<b>Elevación (msnm):</b>	
<b>NEA (m):</b>	24.79		<b>Brocal(m):</b>	
<b>Q (m<sup>3</sup>/d):</b>	2,301.49		<b>Q(m<sup>3</sup>/h):</b>	95.90

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
24.79	0	0	0.00	0
37.15	1	1	12.36	12.36
47.70	1	2	22.91	10.55
51.48	1	3	26.69	3.78
53.32	1	4	28.53	1.84
54.10	1	5	29.31	0.78
54.34	1	6	29.55	0.24
54.56	1	7	29.77	0.22
54.77	1	8	29.98	0.21
54.85	1	9	30.06	0.08

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
54.97	1	10	30.18	0.12
55.07	2	12	30.28	0.10
55.09	2	14	30.30	0.02
55.09	2	16	30.30	0.00
55.10	2	18	30.31	0.01
55.12	2	20	30.33	0.02
55.21	5	25	30.42	0.09
55.41	5	30	30.62	0.20
55.35	5	35	30.56	-0.06
55.41	5	40	30.62	0.06
55.47	10	50	30.68	0.06
55.53	10	60	30.74	0.06
55.50	10	70	30.71	-0.03
55.50	10	80	30.71	0.00
55.50	10	90	30.71	0.00
55.53	10	100	30.74	0.03
55.53	10	110	30.74	0.00
55.53	10	120	30.74	0.00
55.50	20	140	30.71	-0.03
55.50	20	160	30.71	0.00
55.50	20	180	30.71	0.00
55.50	20	200	30.71	0
55.50	20	220	30.71	0.00
55.50	20	240	30.71	0.00
55.50	30	270	30.71	0.00
55.50	30	300	30.71	0.00
55.20	30	330	30.41	-0.30
55.20	30	360	30.41	0.00
55.20	60	420	30.41	0.00
55.20	60	480	30.41	0.00
55.20	60	540	30.41	0.00
55.20	60	600	30.41	0.00
55.20	60	660	30.41	0.00
55.20	60	720	30.41	0.00
55.20	120	840	30.41	0.00



Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
55.20	120	960	30.41	0.00
55.20	120	1080	30.41	0.00
55.20	120	1200	30.41	0.00
55.20	120	1320	30.41	0.00
55.20	120	1440	30.41	0.00

Prueba de Bombeo				
<b>Lugar:</b>	Pozo 3			
<b>Fecha:</b>	29/09/2017			
<b>Coordenadas:</b>	583452	1343720	<b>Elevación (msnm):</b>	92
<b>NEA (m):</b>	22.56		<b>Brocal(m):</b>	
<b>Q (m³/d):</b>	2,813.61		<b>Q(m³/h):</b>	117.23
Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
22.56	0	0	0.00	0
45.66	1	1	23.10	23.10
66.16	1	2	43.60	20.50
70.98	1	3	48.42	4.82
72.10	1	4	49.54	1.12
72.29	1	5	49.73	0.19
72.29	1	6	49.73	0.00
72.41	1	7	49.85	0.12
72.53	1	8	49.97	0.12
72.56	1	9	50.00	0.03
72.68	1	10	50.12	0.12
72.79	2	12	50.23	0.11
72.85	2	14	50.29	0.06
72.88	2	16	50.32	0.03
72.90	2	18	50.34	0.02
72.96	2	20	50.40	0.06
73.14	5	25	50.58	0.18
73.29	5	30	50.73	0.15
73.22	5	35	50.66	-0.07
73.32	5	40	50.76	0.10
73.29	10	50	50.73	-0.03
73.37	10	60	50.81	0.08
73.35	10	70	50.79	-0.02
73.35	10	80	50.79	0.00
73.34	10	90	50.78	-0.01
73.32	10	100	50.76	-0.02

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
73.32	10	110	50.76	0.00
73.34	10	120	50.78	0.02
73.34	20	140	50.78	0.00
73.35	20	160	50.79	0.01
73.37	20	180	50.81	0.02
73.35	20	200	50.79	-0.02
73.43	20	220	50.87	0.08
73.45	20	240	50.89	0.02
73.46	30	270	50.90	0.01
73.46	30	300	50.90	0.00
73.46	30	330	50.90	0.00
73.46	30	360	50.90	0.00
73.46	60	420	50.90	0.00
73.46	60	480	50.90	0.00
73.46	60	540	50.90	0.00
73.46	60	600	50.90	0.00
73.46	60	660	50.90	0.00
73.46	60	720	50.90	0.00
73.46	120	840	50.90	0.00
73.46	120	960	50.90	0.00
73.46	120	1080	50.90	0.00
73.46	120	1200	50.90	0.00
73.46	120	1320	50.90	0.00
73.46	120	1440	50.90	0.00

Prueba de Bombeo				
<b>Lugar:</b>	Pozo 4			
<b>Fecha:</b>	02/10/2017			
<b>Coordenadas:</b>	583910	1342008	<b>Elevación (msnm):</b>	125
<b>NEA (m):</b>	47.92		<b>Brocal(m):</b>	
<b>Q (m<sup>3</sup>/d):</b>	107.14		<b>Q(m<sup>3</sup>/h):</b>	4.464166667

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
11.65	0.00	0	0.00	0
11.92	1.00	1	4.56	4.56
11.94	1.00	2	4.14	-0.42
11.94	1.00	3	4.14	0.00
11.94	1.00	4	4.17	0.03
11.95	1.00	5	4.31	0.14
11.95	1.00	6	4.33	0.02
11.95	1.00	7	4.36	0.03
11.95	1.00	8	4.37	0.01
11.95	1.00	9	4.38	0.01
11.95	2.00	11	4.38	0.00
11.95	2.00	13	4.38	0.00
11.95	2.00	15	4.40	0.02
11.96	2.00	17	4.41	0.01
11.96	2.00	19	4.42	0.01
11.96	2.00	21	4.42	0.00
11.96	2.00	23	4.42	0.00
11.96	5.00	28	4.43	0.01
11.96	5.00	33	4.44	0.00
11.97	5.00	38	4.46	0.03
11.97	5.00	43	4.47	0.01
11.97	5.00	48	4.47	0.00
11.97	5.00	53	4.47	0.00
11.98	10.00	63	4.49	0.02
11.98	10.00	73	4.53	0.04
11.98	10.00	83	4.55	0.02

Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	S Abatimiento (m)	$\Delta s(m)$
11.98	10.00	93	4.56	0.01
11.98	10.00	103	4.56	0.00
11.98	10.00	113	4.58	0.02
11.98	10.00	123	4.59	0.01
11.98	10.00	133	4.60	0.01
11.98	10.00	143	4.61	0
11.98	10.00	153	4.63	0.02
11.98	10.00	163	4.63	0.00
11.98	20.00	183	4.64	0.01
11.99	20.00	203	4.65	0.01
11.99	20.00	223	4.66	0.01
11.99	20.00	243	4.68	0.02
11.99	20.00	263	4.68	0.00
11.99	30.00	293	4.68	0.00
11.99	30.00	323	4.68	0.01
11.99	60.00	383	4.70	0.02
11.99	60.00	443	4.68	-0.02
11.99	60.00	503	4.72	0.05
11.99	60.00	563	4.76	0.03
11.99	60.00	623	4.77	0.02
11.99	60.00	683	4.82	0.05
12.00	60.00	743	4.82	0.00

Prueba de Bombeo			
<b>Lugar:</b>	Pozo 5		
<b>Fecha:</b>	23/08/2017		
<b>Coordenadas:</b>	581933E	1338562N	<b>Elevación (msnm):</b> 188
<b>NEA (m):</b>	105.98		<b>Diámetro de descarga:</b> 6 pulgadas
<b>Q (m<sup>3</sup>/d):</b>	3,362.7		<b>Q(m<sup>3</sup>/h):</b> 140.1

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel Dinámico (m)	S Abatimiento (m)
1	0	105.98	0.00
1	1	112.62	6.64
1	2	113.07	7.09
1	3	113.26	7.28
1	4	113.36	7.38
1	5	113.44	7.46
1	6	113.48	7.50
1	7	113.52	7.54
1	8	113.56	7.58
1	9	113.56	7.58
1	10	113.57	7.59
2	12	113.62	7.64
2	14	113.63	7.65
2	16	113.64	7.66
2	18	113.66	7.67
2	20	113.66	7.68
5	25	113.68	7.70
5	30	113.71	7.73
5	35	113.72	7.74
5	40	113.73	7.75
5	45	113.73	7.75
5	50	113.73	7.75
5	55	113.75	7.77
5	60	113.75	7.77
10	70	113.76	7.78
10	80	113.77	7.79
10	90	113.77	7.79
10	100	113.78	7.80
10	110	113.80	7.82

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel Dinámico (m)	S Abatimiento (m)
10	120	113.80	7.82
20	140	113.80	7.82
20	160	113.82	7.84
20	180	113.83	7.85
20	200	113.83	7.85
20	220	113.84	7.85
20	240	113.84	7.85
30	270	113.85	7.87
30	300	113.85	7.87
30	330	113.87	7.89
30	360	113.85	7.87
60	420	113.89	7.91
60	480	113.92	7.94
60	540	113.95	7.97
60	600	113.95	7.97
60	660	113.97	7.99
60	720	113.98	8.00
60	840	113.98	8.00
60	960	113.98	8.00
60	1080	113.98	8.00
60	1200	113.98	8.00
120	1320	113.98	8.00


<b>Prueba de Bombeo</b>			
<b>Lugar:</b>	Pozo 6		
<b>Fecha:</b>	26/08/2017		
<b>Coordenadas:</b>	578877E	1338287N	<b>Elevación (msnm):</b> 233
<b>NEA (m):</b>	154.08		<b>Diámetro de descarga:</b> 6 pulgadas
<b>Q (m<sup>3</sup>/d):</b>	2,534.3		<b>Q(m<sup>3</sup>/h):</b> 105.5

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo acumulado (min)</b>	<b>Nivel Dinámico(m)</b>	<b>S Abatimiento (m)</b>
1	0	154.08	0.00
1	1	154.84	0.76
1	2	155.02	0.94
1	3	155.08	1.00
1	4	155.15	1.07
1	5	155.21	1.13
1	6	155.25	1.17
1	7	155.30	1.22
1	8	155.30	1.23
1	9	155.31	1.23
1	10	155.33	1.25
2	12	155.37	1.30
2	14	155.33	1.25
2	16	155.34	1.26
2	18	155.34	1.26
2	20	155.36	1.28
5	25	155.39	1.31
5	30	155.43	1.36
5	35	155.43	1.36
5	40	155.45	1.37
5	45	155.45	1.37
5	50	155.45	1.37
5	55	155.47	1.40
5	60	155.47	1.40
10	70	155.48	1.40
10	80	155.50	1.42
10	90	155.50	1.42
10	100	155.51	1.43



Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel Dinámico(m)	S Abatimiento (m)
10	110	155.53	1.45
10	120	155.53	1.45
20	140	155.53	1.45
20	160	155.54	1.46
20	180	155.54	1.46
20	200	155.56	1.48
20	220	155.57	1.49
20	240	155.57	1.50
30	270	155.59	1.51
30	300	155.59	1.51
30	330	155.60	1.52
60	360	155.60	1.52
60	420	155.61	1.53
60	480	155.63	1.55
60	540	155.63	1.55
60	600	155.63	1.55
60	660	155.63	1.55
60	720	155.63	1.55
120	840	155.63	1.55
120	960	155.63	1.55
120	1080	155.63	1.55
120	1200	155.63	1.55

Anexo 4. Resultados de Análisis de calidad de aguas.



**LABORATORIOS Médico-Químicos DR. BENGOCHEA, S.A.**  
 Km. 5½ Carretera a Masaya, Managua, Nicaragua. Teléfono: 2277-2145 Fax: 2277-2144  
 Web: [www.labbengoechea.com.ni](http://www.labbengoechea.com.ni)

LABORATORIO REGISTRADO BAJO EL # 719

Dr. J. Jaime Bengoechea  
 (University of Michigan)  
 Director - Gerente

**ANALISIS INDUSTRIAL # 19,479**

MUESTRA : Agua de Pozo - Proceso de Osmosis, (Entrada a Osmosis)  
 Lugar de Muestreo: Estatua de Montoya, 1c. al lago, 1c. abajo. Managua.  
 Pozo 1

---

**ANALISIS FISICO QUIMICO PARA POTABILIDAD**

RESULTADOS			METODO SMWW XX ED.	Valores Guías de Potabilidad (O.M.S.)	
				Máxima Aceptable	Máxima Tolerable
pH		6,90 Unidades	1500-pH B	7,0 – 8,5 Unidades	6,5 – 8,2 Unidades
Conductividad	25°C	760, µS/cm	2510 B	No aplicable	
Sólidos Disueltos	103-105°C	433, mg/L	2540 B	500 mg/L	1,500 mg/L
Dureza Total		0,50 mgCaCO <sub>3</sub> /L	2340 C	300 " "	1,000 " "
<b>CATIONES</b>					
Calcio	0,0 meq/L	0,0 mg/L	3500-Ca B	75 mg/L	200 mg/L
Magnesio	0,01 " "	0,12 " "	3500-Mg B	50 " "	150 " "
Sodio	7,41 " "	170,4 " "	3500-Na B	Hasta 200 " "	Hasta 200 " "
Potasio	0,16 " "	6,26 " "	3500-K B	No hay referencia	No hay referencia
	7,58 " "				
<b>ANIONES</b>					
Carbonatos	0,0 meq/L	0,00 mg/L	2320 B	No hay referencia	No hay referencia
Bicarbonatos	3,54 " "	216,0 " "	2320 B	No hay referencia	No hay referencia
Cloruros	1,59 " "	56,37 " "	4500-Cl B	200 mg/L	200 – 300 mg/L
Sulfatos	0,76 " "	36,48 " "	4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	200 " "	400 " "
Nitratos	1,57 " "	97,34 " "	213 C SMWW XIII ed.	Hasta 45 " "	Hasta 45 " "
	7,44 " "				
<b>OTROS</b>					
Flúor	0,81 mg/L	0,03 mg/L	4500-F- D	Hasta 1.5 mg/L	Hasta 1.5 mg/L
Hierro Total	0,07 mg/L	0,04 " "	3500-Fe B	0.3 " "	1 – 3 " "
Manganeso	0,06 mg/L	0,05 " "	3500-Mn B	0.1 " "	0.5 " "

NOTA: Los elementos analizados se encuentran dentro de las normas internacionales para aguas químicamente potables, Conforme a normas de la O.M.S. Según su dureza esta agua se clasifica como **AGUA SUAVE**. Los rangos señalados son extraídos de las guías internacionales para aguas potables, según la O.M.S. III ed. 2004.

Muestra tomada el día 06/11/2014 a las 3:18pm, por Personal Calificado de Laboratorios Bengoechea, Técnico, Jacqueline Rojas.


J. Jaime Bengoechea D.  
 cc;archivo  
 RT/mme.

LABORATORIOS BENGOCHEA, S.A.  
 INSTITUTO DE ANALISIS QUIMICO INDUSTRIAL  
 DIX ANALISIS QUIMICO INDUSTRIAL  
 Telef: 2277-2144/45  
 Managua, Nicaragua


Industria Farmacéutica - Análisis Químico Industriales - Microbiología - Análisis Clínico  
 Fundado en 1931

Análisis físico químico, Pozo 1.

Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**  
**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua**  
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982  
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



**Resultados Analíticos Físico Químicos**

MATRIZ DE LA MUESTRA  
 FUENTE  
 IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE  
 LUGAR Y/O COMUNIDAD  
 MUNICIPIO, DEPARTAMENTO  
 COORDENADAS

AGUA NATURAL  
 Pozo Perforado  
 Pozo 2  
 Managua, Managua  
 Managua, Managua  
 1340315 N; 878407 E


CÓDIGO DEL LABORATORIO  
 FECHA DE RECEPCIÓN  
 FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS  
 FECHA DEL REPORTE


AN-1067  
 2014-10-27  
 2014-10-27  
 2014-11-07

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	mg.l <sup>-1</sup>	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE <sup>2</sup>
TURBIDEZ	2130.B <sup>1</sup>		0,40	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B <sup>1</sup>		8,02	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 27,7 °C	2510.B <sup>1</sup>		459,00	µS.cm <sup>-1</sup>		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E <sup>1</sup>		263,59	mg.l <sup>-1</sup>			1000,00 mg.l <sup>-1</sup>
COLOR VERDADERO	2120.B <sup>1</sup>		5,0	mg.l <sup>-1</sup> Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l <sup>-1</sup> Pt-Co
CALCO	3500-Ca.B <sup>1</sup>	0,08	20,46	mg.l <sup>-1</sup>	1,021		Sin referencia
MAGNESIO	3500-Mg.B <sup>1</sup>	0,20	9,78	mg.l <sup>-1</sup>	0,805		50,00 mg.l <sup>-1</sup>
SODIO	Electrodo IS - Na <sup>2</sup>	0,10	55,20	mg.l <sup>-1</sup>	2,401		200,00 mg.l <sup>-1</sup>
POTASIO	3500-K.B <sup>1</sup>	0,10	14,38	mg.l <sup>-1</sup>	0,368		10,00 mg.l <sup>-1</sup>
CLORURO	4110.B <sup>1</sup>	0,25	21,13	mg.l <sup>-1</sup>	0,596		250,00 mg.l <sup>-1</sup>
NITRATO	4110.B <sup>1</sup>	0,25	7,16	mg.l <sup>-1</sup>	0,115		50,00 mg.l <sup>-1</sup>
SULFATO	4110.B <sup>1</sup>	0,25	21,72	mg.l <sup>-1</sup>	0,452		250,00 mg.l <sup>-1</sup>
CARBONATOS	2320.B <sup>1</sup>	2,00	< ld	mg.l <sup>-1</sup>			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B <sup>1</sup>	0,75	185,50	mg.l <sup>-1</sup>	3,040		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO <sub>3</sub>	2340.C <sup>1</sup>	0,13	91,29	mg.l <sup>-1</sup>	1,826		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO <sub>3</sub>	2320.B <sup>1</sup>	0,62	152,00	mg.l <sup>-1</sup>	3,040		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B <sup>1</sup>	1,67	< ld	mg.l <sup>-1</sup>			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO <sub>2</sub> .C <sup>1</sup>	0,20	47,25	mg.l <sup>-1</sup>			Sin referencia
NITRITO	4500-NO <sub>2</sub> .B <sup>1</sup>	0,003	< ld	mg.l <sup>-1</sup>			0,10 ó 3,00 mg.l <sup>-1</sup> *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B <sup>1</sup>	0,02	0,06	mg.l <sup>-1</sup>			0,30 mg.l <sup>-1</sup>
FLUORURO	4110.B <sup>1</sup>	0,25	0,47	mg.l <sup>-1</sup>			0,7 - 1,5 mg.l <sup>-1</sup>
AMONIO	4500-NH <sub>4</sub> .F <sup>1</sup>	0,0003	0,045	mg.l <sup>-1</sup>			0,5 mg.l <sup>-1</sup>
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E <sup>1</sup>		4,46	%			

**Datos de campo reportados por el cliente:**  
 pH: 8,59 Unidades de pH      Oxígeno Disuelto: 3,07 mg.l<sup>-1</sup>  
 Temperatura: 28,56 °C      Potencial Redox: -41,6 mV  
 Conductividad: 407 µS.cm<sup>-1</sup>  
 Salinidad: 0,18 ‰  
 Elevación: 138 msnm

\* Si se toma el valor de 3,00 mg.l<sup>-1</sup> debe relacionarse el número y número por fórmula




  
 MSc. Silvia Fuentes Huevra

  
 MSc. Juliette Molina Marín  
 Jefe de Laboratorio de Aguas Naturales

**DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS**


En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Aguas Naturales hace constar que la muestra de agua natural codificada con el N° AN-1067 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el Cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la Información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Naturales".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo, copia de estos registros los mantendrá la Institución por un tiempo de 5 años.


  
**AREA ANALÍTICA**  



Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Managua, a los siete días del mes de noviembre del año dos mil catorce.

  
**AREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE CALIDAD CIRA/UNAN**


Página 1 de 1

Análisis físico químico, Pozo 2.


		<b>LABORATORIOS BENGOCHEA, S.A.</b> Km. 5 ½ Carretera a Masaya, Managua, Nicaragua Teléfono: 2277-2145 FAX: 2277-2144 Web: <a href="http://www.labbengoechea.com.ni">www.labbengoechea.com.ni</a>			
Acreditado ISO 17025:2005		LABORATORIO REGISTRADO BAJO EL # 719			
<b>ANÁLISIS INDUSTRIAL # 22,917</b> <b>MUESTRA : Agua de Pozo Perforado, Pozo 3</b>					
<b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA POTABILIDAD</b>					
RESULTADOS			MÉTODO SMWW XX ED.	Valores Guías de Potabilidad (O.M.S.)	
				Máxima Aceptable	Máxima Tolerable
**pH		8,34 Unidades	1500-pH B	7,0 – 8,5 Unidades	6,5 – 8,2 Unidades
**Conductividad	25°C	705,0 µS/cm	2510 B	No aplicable	
**Sólidos Disueltos	103-105°C	470,0 mg/L	2540 B	600 mg/L	1.500 mg/L
**Dureza Total		142,0 mgCaCO <sub>3</sub> /L	2340 C	300 " "	1.000 " "
Color		< 5 Unidades Pt/Co	2120 B	---	---
<b>CATIONES</b>					
**Calcio	2,11 meq/L	42,20 mg/L	3500-Ca B	75 mg/L	200 mg/L
**Magnesio	0,73 " "	12,15 " "	3500-Mg B	50 " "	150 " "
**Sodio	3,76 " "	86,48 " "	3500-Na B	Hasta 200 " "	Hasta 200 " "
**Potasio	0,25 " "	9,78 " "	3500-K B	No hay referencia	No hay referencia
	6,85 " "				
<b>ANIONES</b>					
**Carbonatos	0,00 meq/L	0,00 mgCaCO <sub>3</sub> /L	2320 B	No hay referencia	No hay referencia
**Bicarbonatos	3,99 " "	243,6 mgHCO <sub>3</sub> /L	2320 B	No hay referencia	No hay referencia
**Cloruros	1,43 " "	50,77 mg/L	4500-Cl B	200 mg/L	200 – 300 mg/L
**Sulfatos	0,88 " "	32,84 " "	4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	200 " "	400 " "
**Nitratos	0,72 " "	44,64 " "	213 C' SMWW XIII ed.	Hasta 45 " "	Hasta 45 " "
	6,82 " "				
<b>OTROS</b>					
**Flúor	0,39 mg/L	Límite de Detección 0,03 mg/L	4500-F- D	Hasta 1,5 mg/L	Hasta 1,5 mg/L
**Hierro Total	0,41 mg/L	0,05 mg/L	3500-Fe B	0,3 " "	1 – 3 " "
**Manganeso	*N.D.	0,07 mg/L	3500-Mn B	0,1 " "	0,5 " "
Alcalinidad Total	198,5 mg/L	---	2320 B	---	---
Alcalinidad a la Fenolftaleína	0,0 mg/L	---	2320 B	---	---
*N.D. No Detectado					
NOTA: Los elementos analizados se encuentran dentro de las normas internacionales para aguas químicamente potables, Conforme a normas de la O.M.S. Según su dureza esta agua se clasifica como <b>AGUA MUY DURA</b> , Los rangos señalados son e extraídos de las guías internacionales para aguas potables, según la O.M.S. III ed. 2004					

**Análisis físico químico Pozo 3.**

Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**  
**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua**  
 Hospital Monte España 300 m al norte, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982  
 Telefax (505) 2267 8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni




**Resultados Analíticos Físico Químicos**

MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE LUGAR Y/O COMUNIDAD MUNICIPIO, DEPARTAMENTO COORDENADAS ELEVACIÓN	AGUA NATURAL Pozo Perforado Pozo 4 Multicentro Las Americas Managua, Managua 1342008 N; 883910 E 125 mnm
CÓDIGO DEL LABORATORIO FECHA DE RECEPCIÓN FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS FECHA DEL REPORTE	AN-668 2015-05-25 2015-05-26 2015-06-12

**DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS**

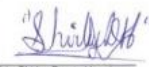
En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001 05), el Laboratorio de Aguas Naturales hace constar que la muestra codificada como AN-668 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el Cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la Información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Naturales".


Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo, copia de estos registros los mantendrá la Institución por un tiempo de 5 años.


  
 ÁREA ANALÍTICA  
 CIRA/UNAN

Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El Cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al Centro bajo expresa y formal autorización de la Dirección. Por su parte, el CIRA/UNAN-Managua se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del Cliente.

Managua, a los doce días del mes de junio del año dos mil quince.

  
 Lic. Shirley Duarte Henríquez

  
 MSc. Jhonny Mejía Medina  
 Jefe de Laboratorio de Aguas



**Datos de campo:**

pH: 8,14 Unidades de pH	Salinidad: 0,27 ‰
Temperatura: 26,44 °C	Potencial Redox: 4 mV
Conductividad: 557 µS.cm <sup>-1</sup>	

**Referencias:**

<sup>1</sup> American Public Health Association (APHA). (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 st. Edition. Washington: APHA.

<sup>2</sup> Hesse Omer. (2001). RODS Soluim Elektrode Instruction Manual. Model 86110V. USA: Thermo Orion.

<sup>3</sup> Comité Coordinador Regional de Indicadores de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1992). Normas de Calidad para consumo humano. Costa Rica

\* Si se toma el valor de 3,00 mg.l<sup>-1</sup> debe relacionarse el nitrato y nitró por fórmula

Análisis físico químico Pozo 4.



**LABORATORIOS Médico-Químicos DR. BENGOCHEA, S.A.**  
 Km. 5½ Carretera a Masaya, Managua, Nicaragua. Teléfono: 2277-2145 Fax: 2277-2144  
 Web: [www.labbengoechea.com.ni](http://www.labbengoechea.com.ni)

Dr. J. Jaime Bengoechea  
 (University of Michigan)  
 Director - Gerente

LABORATORIO REGISTRADO BAJO EL # 719

**ANALISIS INDUSTRIAL # 19,438**  
**MUESTRAS :**

n/Ref.LB/40,127	Agua de Pozo (Antes del Tratamiento de Osmosis Inversa)
n/Ref.LB/40,128	Agua de Pozo (Después del Tratamiento de Osmosis Inversa)

Pozo 1

**ANALISIS BACTERIOLOGICO-SANITARIO**

Muestras	Presuntiva de Coliformes	Confirmatoria de Coliformes (Coliformes Totales) NMP/100ml	Coliforme E.Coli	NMP/100mL E.coli
Agua de Pozo (Antes del Tratamiento de Osmosis Inversa)	0/5	--- < 1.1	---	< 1.1
Agua de Pozo (Después del Tratamiento de Osmosis Inversa)	0/5	--- < 1.1	---	< 1.1

NOTA: Desde el punto de vista bacteriológico a esta fecha, estas muestras **SON APTAS PARA HEMODIALISIS** de acuerdo a **LAS NORMAS AAMI Y FDA** .

Un NMP x 100mL de Coliformes Confirmado, menor que 1.1 es satisfactoria para consumo humano.

NMP x 100 mL. significa : Número más probable de bacterias en referencia contenidas en 100 mL. de la muestra.

Método SMWW XX Edi. 9221 B, 9221C. ( 5 x 20ml )  
 Normas AAMI Y FDA PARA HEMODIALISIS

Muestras tomadas el día 07/11/2014 de 3:18pm. a 3:29pm. . por Personal Calificado de Laboratorios Bengoechea, Técnico Jacqueline Rojas.

J. Jaime Bengoechea

cc:archivo.  
 JR/mme.



Industria Farmacéutica - Análisis Químico Industriales - Microbiología - Análisis Clínico  
 Fundado en 1931

**Análisis bacteriológico, Pozo 1.**

Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras

 <p align="center"><b>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua</b>  <b>Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua</b>          Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982          Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni</p>			
<b>Resultados Analíticos de Microbiología</b>			
MATRIZ DE LA MUESTRA	Agua Natural		
FUENTE	Pozo Perforado		
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	Pozo 2		
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Managua, Managua		
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Managua		
ELEVACIÓN	138 m		
COORDENADAS	1340315 N; 878407 E		
FECHA DE MUESTREO	2014-10-27		
HORA DE MUESTREO	12 h 10		
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MB-1540		
FECHA DE RECEPCIÓN	2014-10-27		
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2014-10-27		
FECHA DEL REPORTE	2014-11-04		

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valor Recomendado *CAPRE	Valor Guía *WHO
* COLIFORMES TOTALES	9221 B <sup>1</sup>	< 1.1	1.10E+00	NMP/100 ml	Negativo	SR
* COLIFORMES TERMOTOLERANTES	9221 E <sup>1</sup>	< 1.1	< 1.1	NMP/100 ml	Negativo	No detectable en 100 ml
* <i>Escherichia coli</i>	9221 F <sup>1</sup>	< 1.1	< 1.1	NMP/100 ml	Negativo	No detectable en 100 ml

**DATOS DE CAMPO**

pH: 8,59 Unidades de pH      Conductividad eléctrica: 407 µS.cm<sup>-1</sup>  
 Temperatura: 28,56 °C      Potencial Redox: -41,6 mV  
 Salinidad: 0,18 ‰  
 Oxígeno Disuelto: 3,07 mg.l<sup>-1</sup>

**Ensayos Acreditados**



**Observaciones:**  
 Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

**Clave:**  
 NMP/100 ml: Número más Probable en cien milímetros de muestra ensayada.  
 SR: Sin Referencia

**Referencias:**

<sup>1</sup> American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Ed. Washington: APHA.  
<sup>2</sup> Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano* Costa Rica. CAPRE.  
<sup>3</sup> World Health Organization (W.H.O.). 2011. *Guidelines for drinking-water Quality*, fourth edition. Geneva 27, Switzerland: W.H.O.

  
 Lic. Argentina Zelaya Noguera

  
 Lic. Camilo Chacón Méndez  
 Jefe Lab. Microbiología

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Microbiología hace constar que la muestra de agua natural codificada con el N° MB-1540 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el Cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Así mismo, copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.

  
 AREA ANALITICA  
 CIRA/UNAN

Los resultados emitidos en éste informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

  
 Managua, a los cuatro días del mes de noviembre del año dos mil catorce

  
 AREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD  
 CIRA/UNAN

Análisis bacteriológico, Pozo 2.



**LABORATORIOS BENGOCHEA, S.A.**  
 Km. 5 ½ Carretera a Masaya, Managua, Nicaragua.  
 Teléfono: 2277-2145, 2270-0450-52 FAX: 2277-2144  
 Web: [www.labbengoechea.com.ni](http://www.labbengoechea.com.ni)  
 LABORATORIO REGISTRADO BAJO EL # 719

**ANALISIS INDUSTRIAL # 22,821**

Numero de Referencia	Descripción de muestra
LB/45,229	Agua de Pozo Perforado

**Pozo 3**

---

**ANALISIS BACTERIOLOGICO-SANITARIO**

Descripción de muestra	Presuntiva de Coliformes	Confirmatoria de Coliformes (Coliformes Totales) NMP/100ml	Coliforme E.Coli	NMP/100mL E.coli
<b>Agua de Pozo Perforado</b>	0/5	---	< 1.1	---

NOTA: Desde el punto de vista bacteriológico sanitario a esta fecha, esta muestra **ES: APTA PARA CONSUMO HUMANO**, conforme a normas de la O.M.S. en vigencia.

Un NMP x 100mL de Coliformes Confirmado, menor que 1.1 es satisfactoria para consumo humano.

NMP x 100 mL. significa : Número más probable de bacterias en referencia contenidas en 100 mL. de la muestra.

Método SMWW XX Edi. 9221 B, 9221C. ( 5 x 20ml )  
 Normas O.M.S. III ed. Vigente.

Se da fe únicamente de la muestra presentada.



J. Jaime Bengoechea D.

**Análisis bacteriológico, Pozo 3.**



Caracterización Hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**  
**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua**  
 Hospital Monte España 300 m al norte, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982  
 Telefax (505) 2267 8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



**Resultados Analíticos de Microbiología**

<b>MATRIZ DE LA MUESTRA</b>	AGUA NATURAL
<b>FUENTE</b>	Pozo Profundo
<b>IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE</b>	Pozo 4
<b>LUGAR Y/O COMUNIDAD</b>	Multicentro Las Américas
<b>MUNICIPIO, DEPARTAMENTO</b>	Managua, Managua
<b>COORDENADAS</b>	1342908 N; 863910 E
<b>ELEVACIÓN</b>	125 msnm
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	2015-05-25
<b>HORA DE MUESTREO</b>	13 h 00
<b>CÓDIGO DEL LABORATORIO</b>	MB-0943
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	2015-05-25
<b>FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS</b>	2015-05-25
<b>FECHA DEL REPORTE</b>	2015-06-01

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valor Recomendado CAPRE <sup>1</sup>	Valor Guía WHO <sup>2</sup>
• COLIFORMES TOTALES	9221 B <sup>1</sup>	< 1.8	< 1.8	NMP/ 100 ml	Negativo	Sin Referencia
• COLIFORMES TERMOTOLERANTES	9221 E <sup>1</sup>	< 1.8	< 1.8	NMP/ 100 ml	Negativo	No Detectable en 100 ml
• <i>Escherichia coli</i>	9221 F <sup>1</sup>	< 1.8	< 1.8	NMP/ 100 ml	Negativo	No Detectable en 100 ml

**Ensayos Acreditados**



**Datos de Campo:**  
 pH: 8,14 Unidades de pH  
 Temperatura: 28,44 °C  
 Conductividad: 567 µS/cm 1  
 Salinidad: 0,27 ‰  
 Potencial Redox: 4 mV




MSc. Claudia Toleno      Dr. Argelina Zelaya Noguera  
 Jefe de laboratorio de Microbiología

**Observación:**  
 Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

**Referencias:**  
<sup>1</sup> American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 21<sup>st</sup> Edition. Washington: APHA.  
<sup>2</sup> Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). *Normas de Calidad para Consumo Humano* Costa Rica.  
<sup>3</sup> World Health Organization (W.H.O.). 2011. *Guidelines for drinking-water Quality*, fourth edition. Geneva 27, Switzerland: W.H.O.

Página 1 de 1

**DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS**

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Microbiología hace constar que la muestra codificada como MB-0943 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el Cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la Información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo, copia de estos registros los mantendrá la Institución por un tiempo de 5 años.




Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El Cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al Centro bajo expresa y formal autorización de la Dirección. Por su parte, el CIRA/UNAN-Managua se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del Cliente.

Managua, al primer día del mes de junio del año dos mil quince.



ÁREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE CALIDAD CIRA/UNAN

Análisis bacteriológico, Pozo 4.



**LABORATORIOS BENGOCHEA, S.A.**

Km. 5 ½ Carretera a Masaya, Managua, Nicaragua.  
 Teléfono: 2277-2145, 2270-0450-52 FAX: 2277-2144  
 Web: [www.labbengoechea.com.ni](http://www.labbengoechea.com.ni)

LABORATORIO REGISTRADO BAJO EL # 719

**INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE AREA DE MICROBIOLOGIA**

---

**ORDEN No:** 16-472

**DIRECCION:** KM 17 CARRETERA AL CRUCERO.

**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** AGUA DE CONSUMO HUMANO

**ROTULACION DE LA MUESTRA:** POZO 5

**CODIGO MUESTRA:** MIC-16-553



ANALISIS	METODO	RESULTADOS	VALOR MAXIMO ADMISIBLE
ESCHERICHIA COLI	9221 F. FERMENTACION DE TUBOS MULTIPLES (ACREDITADO)*	< 1.1 NMP/100ml	No especificado <sup>2</sup>
COLIFORMES FECALES	9221 E. FERMENTACION DE TUBOS MULTIPLES (ACREDITADO)*	Negativo	Negativo <sup>4</sup>

**OBSERVACIONES**

**Análisis bacteriológico, Pozo 5.**

Anexo 5. Galería de fotos.



Foto 1. Inventario de gasolineras



Foto 2. Inventario de gasolineras



Foto 3. Realización de prueba de bombeo



Foto 4. Realización de prueba de bombeo



Foto 5. Levantamiento de datos de Prueba de Infiltración.