



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE LOS NIVELES FREÁTICOS DEL ÁREA
NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL**

Gabino René Coló López

Asesorado por el Ing. José Fernando Samayoa Roldán

Guatemala, marzo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LOS NIVELES FREÁTICOS DEL ÁREA
NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GABINO RENÉ COLÓ LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ FERNANDO SAMAYOA ROLDÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

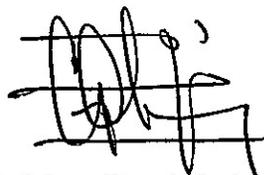
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE LOS NIVELES FREÁTICOS DEL ÁREA NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha marzo de 2010.



Gabino René Coló López

Guatemala 27 de Septiembre de 2013

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Coordinador de la unidad de Hidráulica
Escuela de Ingeniería civil
Guatemala

Estimado Ing. Aguilar

Atentamente me dirijo a usted para exponerle lo siguiente

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado ESTUDIO DE LOS NIVELES FREATICOS DEL AREA NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Gabino René Coló López, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Coló López, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente



Ing. José Fernando Samayoa Roldán

José Fernando Samayoa Roldán
Ingeniero Civil e Hidrogeólogo
Colegiado No. 2299



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
22 de enero de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

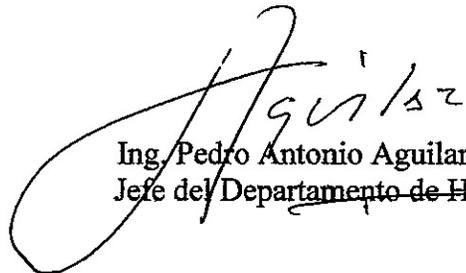
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO DE LOS NIVELES FREÁTICOS DEL ÁREA NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Gabino René Coló López, quien contó con la asesoría del Ing. José Fernando Samayoa Roldán.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





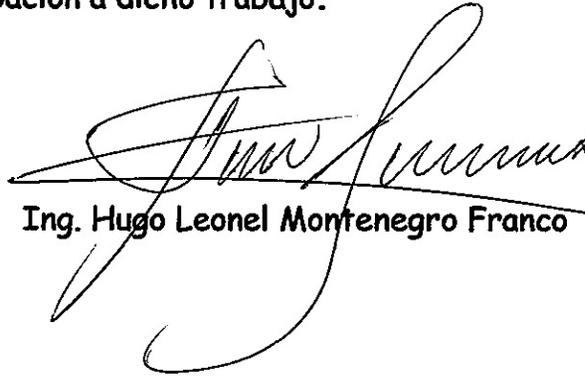
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Fernando Samayoá Roldán y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Gabino René Coló López, titulado ESTUDIO DE LOS NIVELES FREÁTICOS DEL ÁREA NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

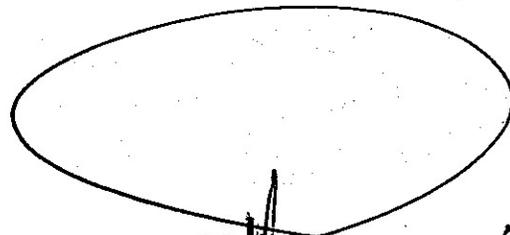


Facultad de Ingeniería
Decanato

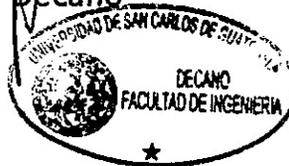
DTG. 112 .2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE LOS NIVELES FREÁTICOS DEL ÁREA NORTE Y ESTE DE LA CIUDAD CAPITAL**, presentado por el estudiante universitario **Gabino René Coló López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 11 de marzo de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Mi papá (q.e.p.d.)** Gracias papito por haber sido mi héroe, mi amigo, mi inspiración. Hasta el cielo llega todo el amor y admiración que te tengo.
- Mi mamá** Por ser la mejor compañera en mis luchas, la motivación de mi corazón y la inspiración de mi vida.
- Mis hermanos** Gracias por ser mis mejores amigos, tenerme paciencia y quererme como hasta hoy. Este triunfo también es de ustedes.
- Mis sobrinos** Roxana, Johnny, Brenda, Gabino, Daniela y Damián Coló. Ustedes son un regalo precioso para mi vida. Que este triunfo sirva de ejemplo y motivación para sus vidas.
- Juanita Vásquez** Por haber sido mi apoyo y compañía en este largo recorrido. Este éxito también es tuyo.
- Mis compañeros** A todos los que compartimos alegrías, tristezas y cansancios en las aulas de ingeniería. Especialmente dedicado a Pablo Joaquín (q.e.p.d.) y Oliver Bacca (q.e.p.d.).

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser bueno, misericordioso y darme el don precioso de conocerle, darme sueños y fuerzas para cumplirlos.
Mi familia	Por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento. No alcanzan las palabras para agradecerles todo lo que me han dado.
Hosanna	Por ser el lugar en donde he crecido y aprendido a vivir y a conocer a Dios.
Ing. José Samayoa	Por la asesoría, el apoyo incondicional y la enorme paciencia brindada en este proyecto.
EMPAGUA	Especialmente al Departamento de Electromecánica por su valioso apoyo para elaborar este documento.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me formó y me dio el regalo de llamarme orgullosamente sancarlista.

2.1.1.2.	Ejemplo de medición por el método de línea de aire.....	20
2.1.2.	Método de la sonda eléctrica.....	22
2.1.2.1.	Procedimiento para medición con sonda eléctrica	22
2.1.3.	Método de medición automática.....	25
3.	EVALUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO.....	29
3.1.	Antecedentes de la explotación de agua en la ciudad	29
3.2.	Sistema Emergencia 1	30
3.3.	Sectores del sistema Emergencia 1	31
3.3.1.	Vulnerabilidad del sistema.....	31
3.4.	Información obtenida.....	34
3.5.	Análisis de la información.....	59
3.5.1.	Resumen del sector norte	65
3.5.2.	Resumen del sector Lavarreda	67
3.5.3.	Resumen del sector El Rodeo.....	67
3.6.	Discusión de resultados	71
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	El agua subterránea	2
2.	Relaciones del graven del valle de Guatemala	7
3.	Morfología del valle de Guatemala.....	8
4.	Columna estratigráfica de rocas en el valle de Guatemala	9
5.	Mapa geológico del área norte y este de la ciudad de Guatemala.....	14
6.	Método de medición de nivel por línea de aire	19
7.	Ejemplo del método de medición de nivel por línea de aire	21
8.	Sonda eléctrica con base simple.....	23
9.	Sonda eléctrica con carrete motorizado	24
10.	Introducción de sonda eléctrica en el ducto de medición	24
11.	Método de medición automática	26
12.	Registrador de nivel con sistema telemétrico.....	27
13.	Sectores del sistema Emergencia 1	32
14.	Ubicación de pozos del sector Norte, Rodeo y Lavarreda	33
15.	Introducción de sonda en pozo	35
16.	Medición de nivel con sonda eléctrica.....	35
17.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-1	37
18.	Gráfica de producción por año de pozo N-1.....	37
19.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-2	38
20.	Gráfica de producción por año de pozo N-2.....	39
21.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-3	40
22.	Gráfica de producción por año de pozo N-3.....	40
23.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-4	41

24.	Gráfica de producción por año de pozo N-4	42
25.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-5	43
26.	Gráfica de producción por año de pozo N-5	43
27.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-6	44
28.	Gráfica de producción por año de pozo N-6	45
29.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo L-1	46
30.	Gráfica de producción por año de pozo L-1	46
31.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo L-2	47
32.	Gráfica de producción por año de pozo L-2	48
33.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo L-3	49
34.	Gráfica de producción por año de pozo L-3	49
35.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-1	50
36.	Gráfica de producción por año de pozo R-1	51
37.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-3	52
38.	Gráfica de producción por año de pozo R-3	52
39.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-4	53
40.	Gráfica de producción por año de pozo R-4	54
41.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-5	55
42.	Gráfica de producción por año de pozo R-5	55
43.	Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo C-3	56
44.	Gráfica de producción por año de pozo C-3	57
45.	Comportamiento de niveles por año de pozo Maya III	58
46.	Gráfica de producción por año de pozo Maya III	58
47.	Gráfica de comportamiento de niveles estáticos	61
48.	Comportamiento de niveles estáticos sistema norte	62
49.	Gráfica de comportamiento de niveles sistema Lavarreda	63
50.	Gráfica de comportamiento de niveles sistema El Rodeo	64
51.	Gráfica de nivel promedio del sistema norte	68
52.	Gráfica de producción conjunta en el sistema norte	68

53.	Gráfica de nivel promedio del sistema Lavarreda	69
54.	Gráfica de producción conjunta en el sistema Lavarreda.....	69
55.	Gráfica de nivel promedio del sistema El Rodeo.....	70
56.	Gráfica de producción conjunta en el sistema El Rodeo	70

TABLAS

I.	Información recopilada en campo	34
II.	Comportamiento de niveles por año de pozo N-1	36
III.	Comportamiento de niveles por año de pozo N-2.....	38
IV.	Comportamiento de niveles por año de pozo N-3.....	39
V.	Comportamiento de niveles por año de pozo N-4.....	41
VI.	Comportamiento de niveles por año de pozo N-5.....	42
VII.	Comportamiento de niveles por año de pozo N-6.....	44
VIII.	Comportamiento de niveles por año de pozo L-1	45
IX.	Comportamiento de niveles por año de pozo L-2	47
X.	Comportamiento de niveles por año de pozo L-3	48
XI.	Comportamiento de niveles por año de pozo R-1	50
XII.	Comportamiento de niveles por año de pozo R-3.....	51
XIII.	Comportamiento de niveles por año de pozo R-4.....	53
XIV.	Comportamiento de niveles por año de pozo R-5.....	54
XV.	Comportamiento de niveles por año de pozo C-3.....	56
XVI.	Comportamiento de niveles por año de pozo Maya III.....	57
XVII.	Resumen de comportamiento de niveles estáticos.....	60
XVIII.	Niveles promedio por sector	65
XIX.	Producción por pozo y por sector	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Abatimiento
Q	Caudal
gpm	Galones por minuto
km²	Kilómetro cuadrado
km	Kilómetros
PSI	Libras por pulgada cuadrada
l/s	Litros por segundo
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m	Metros
mca	Metros columna de agua
ND	Nivel dinámico
NE	Nivel estático
%	Porcentaje

GLOSARIO

Abatimiento	Diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico
Acuicludo	Medio impermeable a efectos prácticos, aunque no necesariamente seco.
Acuífero	Estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.
Acuífero cautivo	Aquel en el que el agua está en cualquier punto del mismo a mayor presión que la atmosférica.
Acuífero libre	Aquel en el que el límite superior de saturación está a la presión atmosférica, también se le llama acuífero freático.
Acuitardo	Medio poco permeable, pero es capaz de transmitir lentamente agua.
Estratigrafía	Estudia la disposición en capas de espesor variable y características de las rocas.
Isolínea de nivel	Curva de igual elevación del agua subterránea con respecto al nivel del mar (analogía a las curvas del nivel de terreno).

Nivel dinámico	Nivel de agua en un pozo existiendo bombeo.
Nivel estático	Nivel de agua en un pozo cuando no es afectado por el bombeo.
Nivel piezométrico	Elevación del agua en un pozo artesiano al conectar el acuífero con la atmósfera.

RESUMEN

La ciudad de Guatemala se abastece de agua a través de fuentes superficiales y agua subterránea por medio de pozos. La entidad encargada de la captación y distribución del agua es la Empresa Municipal de Agua, EMPAGUA. En el capítulo 1 se encuentra la información hidrológica y geológica de la ciudad capital.

Los métodos, procedimientos y cálculos utilizados para la medición de nivel freático en pozos se presentan en el capítulo 2.

Los sectores de la capital que presentan mayor problema de abastecimiento están en la región norte y este, por lo que la investigación de niveles freáticos se enfocó en esta área. La investigación se realizó a través de los pozos ejecutados por el proyecto: Emergencia 1, de EMPAGUA, ubicados en el área norte y este de la ciudad. Debido a que dicho proyecto de pozos está dividido en sectores, para realizar la presente investigación se escogieron los sistemas Lavarreda, Norte y Rodeo, ubicados en las zonas 6 y 18 de la ciudad capital. Se recopiló la información de niveles, producción, profundidad y estado de los pozos, además de realizarse inspecciones físicas y medición de niveles en cada uno de los pozos en estudio. Los datos, análisis y resultados se encuentran en el capítulo 3.

OBJETIVOS

General

Determinar el comportamiento promedio anual del nivel freático en los sectores norte y este de la ciudad capital.

Específicos

1. Realizar la medición de los niveles estáticos de los pozos del sistema Emergencia 1 ubicados en la región norte y este de la ciudad.
2. Realizar la recopilación de datos de profundidad, niveles y producción por año de los pozos.
3. Realizar el análisis de los datos para determinar la variación de niveles estáticos anual de cada pozo y la variación promedio del sistema.
4. Presentar de forma cuantitativa y gráfica los resultados.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de abastecimiento de sistemas de distribución en áreas urbanas pueden provenir de diversas fuentes, siendo el agua subterránea una de las más usadas por su calidad. Debido al incremento de la demanda y la falta de agua proveniente de fuentes superficiales adecuadas para el abastecimiento de agua en la ciudad capital de Guatemala, se requirió el aprovechamiento del agua subterránea, a través de pozos mecánicos distribuidos en las diferentes zonas de la capital por medio del proyecto Emergencia 1.

Para satisfacer parte de la demanda de agua de los habitantes del área norte y este de la ciudad, EMPAGUA utiliza el sistema de pozos Emergencia I. De este sistema se tomó una muestra de 15 pozos para analizar el comportamiento de los niveles del agua subterránea y su efecto en el rendimiento de los pozos.

La presente investigación presenta los datos de niveles de agua subterránea y producción de los pozos del sistema Emergencia 1, ubicados en el área norte y este de la ciudad capital. También realiza un análisis del comportamiento de los niveles de agua y la reducción de la producción en cada pozo, concluyendo con la determinación del comportamiento promedio de los niveles por sistema (Lavarreda, Norte y Rodeo) y el comportamiento promedio de los niveles del agua subterránea en conjunto de los tres sectores.

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Agua subterránea

Las aguas subterráneas constituyen parte del ciclo hidrológico y son aguas que se mantienen en movimiento a través de estratos geológicos capaces de contenerlas y de permitir su circulación.

El espesor de la zona de saturación puede variar por diferentes factores como la geología local, la presencia de poros o intersticios en las formaciones, así como la recarga y el movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

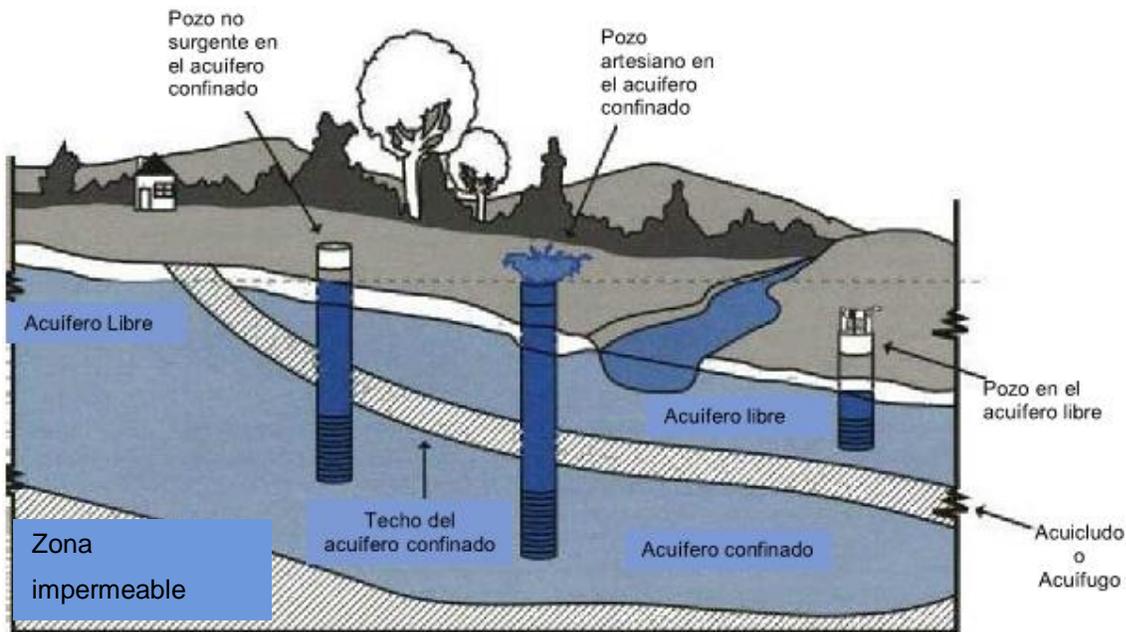
1.1.1. Características del agua subterránea

La figura 1 representa una sección que muestra una clasificación común de los acuíferos.

Se puede observar en la parte superior el acuífero libre, encontrándose cercano a la superficie. La parte superior de éste es conocido como el nivel freático. El nivel freático en un acuífero libre es el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica. Por encima del nivel freático está la zona vadosa, en la cual los poros del suelo pueden contener aire o agua; por esta razón se llama también zona de aeración. En la zona freática, por debajo del nivel freático, los intersticios están llenos de agua, por lo cual esta zona se llama también zona de saturación. La

zona freática puede extenderse a una profundidad considerable, pero a medida que aumenta la profundidad, el peso de la sobrecarga tiende a cerrar los poros.

Figura 1. **El agua subterránea**



Fuente: Jorge Molinero Huguet. Guía del curso de Hidrogeología 2005. p. 28.

Algunas veces el agua subterránea se halla en una formación ubicada bajo un estrato impermeable (acuícludo o acuífugo). El estrato permeable con agua forma un acuífero confinado o artesiano. Los acuíferos confinados se encuentran generalmente a presión debido a las zonas de recarga y a la cabeza hidrostática. Si un pozo llega a penetrar la capa confinante, el agua subirá hasta alcanzar el nivel piezométrico, que es el nombre del nivel de un acuífero confinado. Si el nivel piezométrico se halla por encima de la superficie del terreno, el pozo descargará como un manantial, siendo un pozo surgente.

1.1.2. Acuíferos

Una formación geológica que contiene agua y que la transmite de un punto a otro, en cantidades suficientes, para permitir su desarrollo económico, recibe el nombre de acuífero.

En contraste, un acuicludo es una formación que contiene agua pero que no la transmite con la rapidez suficiente para proveer un abastecimiento significativo a un pozo o a un manantial.

Un acuífugo no tiene intersticios interconectados y no puede retener o transmitir agua. La relación de volumen de poros al volumen total de la formación se denomina porosidad. La porosidad original de un material es aquella que existía en el tiempo en el cual el material fue formado. La porosidad secundaria es el resultado de fracturas y canales de solución.

1.1.3. Orígenes del agua subterránea

Casi toda el agua subterránea es agua meteórica proveniente de la precipitación. En algunos sitios se encuentra agua de formación, presente en la roca durante su formación o deposición y generalmente de alto contenido salino. En menores cantidades existe también la llamada agua juvenil, formada químicamente dentro del subsuelo y traída a la superficie por rocas intrusivas. Tanto el agua de formación como el agua juvenil con frecuencia son las fuentes de minerales indeseables en el agua subterránea.

El agua de lluvia llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación de corrientes y lagos. La percolación directa es el proceso más

efectivo en la recarga del agua subterránea donde los suelos son altamente permeables o donde la capa freática está cerca de la superficie del terreno.

En sitios donde la precipitación anual es relativamente baja y la capa freática está a cientos de metros bajo la superficie, se puede esperar muy poca o nula recarga. En estas áreas, el agua de irrigación puede producir alguna recarga, pero la infiltración del agua de los ríos a través de formaciones permeables será posiblemente la mayor fuente de recarga. Los ríos que contribuyen a la recarga del agua subterránea se denominan corrientes afluentes.

Algunas corrientes se secan con frecuencia durante sequías prolongadas, cuando la percolación absorbe todo el caudal disponible, comportándose así como corrientes intermitentes. Las corrientes de agua casi nunca son afluentes en toda su longitud. A veces el canal cruza estratos de diferente permeabilidad, donde ocurren las mayores pérdidas por percolación en tramos cortos de alta permeabilidad. Con frecuencia se encuentran áreas de considerable percolación en las corrientes que cruzan estratos de grava procedentes de abanicos aluviales.

1.2. Descripción del valle de la ciudad de Guatemala

El valle de Guatemala constituye una parte del altiplano de Guatemala formando un terreno de relieve moderado, al norte de una cadena de conos volcánicos cuaternarios. Esta cadena volcánica, cuyos conos ascienden hasta los 4 000 metros sobre el nivel del mar, se extiende en dirección ONO-ESE paralela a la costa pacífica del país. La elevación máxima del terreno al norte de los volcanes y al este del lago de Amatitlán es de 2 300 metros sobre el nivel del mar, en el valle de Guatemala.

El valle de la ciudad de Guatemala está influenciado por la topografía, geomorfología, estratigrafía y litología que a continuación se describen.

1.2.1. Topografía y geomorfología

Al norte de este altiplano se ubica un terreno de gran relieve, fuertemente bisectado por los afluentes del río Motagua, cuyo curso está determinado por la presencia de grandes fallas; Motagua y San Agustín. Este sistema de fallas tiene un rumbo O-E desde Chichicastenango (91° al norte del lago Atitlán) hasta el Progreso (90° al norte de la ciudad de Guatemala), para después continuar con rumbo N-E hacia el mar Caribe (ver figura 2).

La morfología cuneiforme del terreno entre este sistema de fallas del Motagua y la cadena volcánica, ha sido influenciada por un sistema de fallas de bloque; con rumbo NNE hasta NNO, que forman una serie de bloques levantados y bloques hundidos, de los cuales el valle de Guatemala es un ejemplo.

Esta depresión topográfica forma un valle de fondo plano. La divisoria continental de aguas pasa en dirección NO por la ciudad capital; desde la colonia Florida en el NO (elevación 1 620 metros sobre el nivel del mar) a Vista Hermosa en el SE (elevación mínima 1 510 metros sobre el nivel del mar). Al sur de la divisoria la planicie desciende gradualmente hasta los 1 280 metros sobre el nivel del mar; al norte del lago de Amatitlán (pendiente de casi 2 por ciento). Hacia el norte la planicie desciende hasta los 1 300 metros sobre el nivel del mar, al norte de Chinautla (pendiente de casi 2,5 por ciento), (ver figura 3).

A ambos lados de la divisoria continental los ríos han cortado cañones profundos en la planicie del valle de Guatemala, que está constituido por cenizas y tobas volcánicas. En estas rocas poco resistentes a la erosión mecánica fluvial, se han formado cañones con paredes casi verticales de hasta 140 metros de altura, que representan las densas redes dendríticas juveniles del río Las Vacas que drena en el río Motagua, en el norte y del río Villalobos al sur de la divisoria continental, el cual drena hacia el lago de Amatitlán.

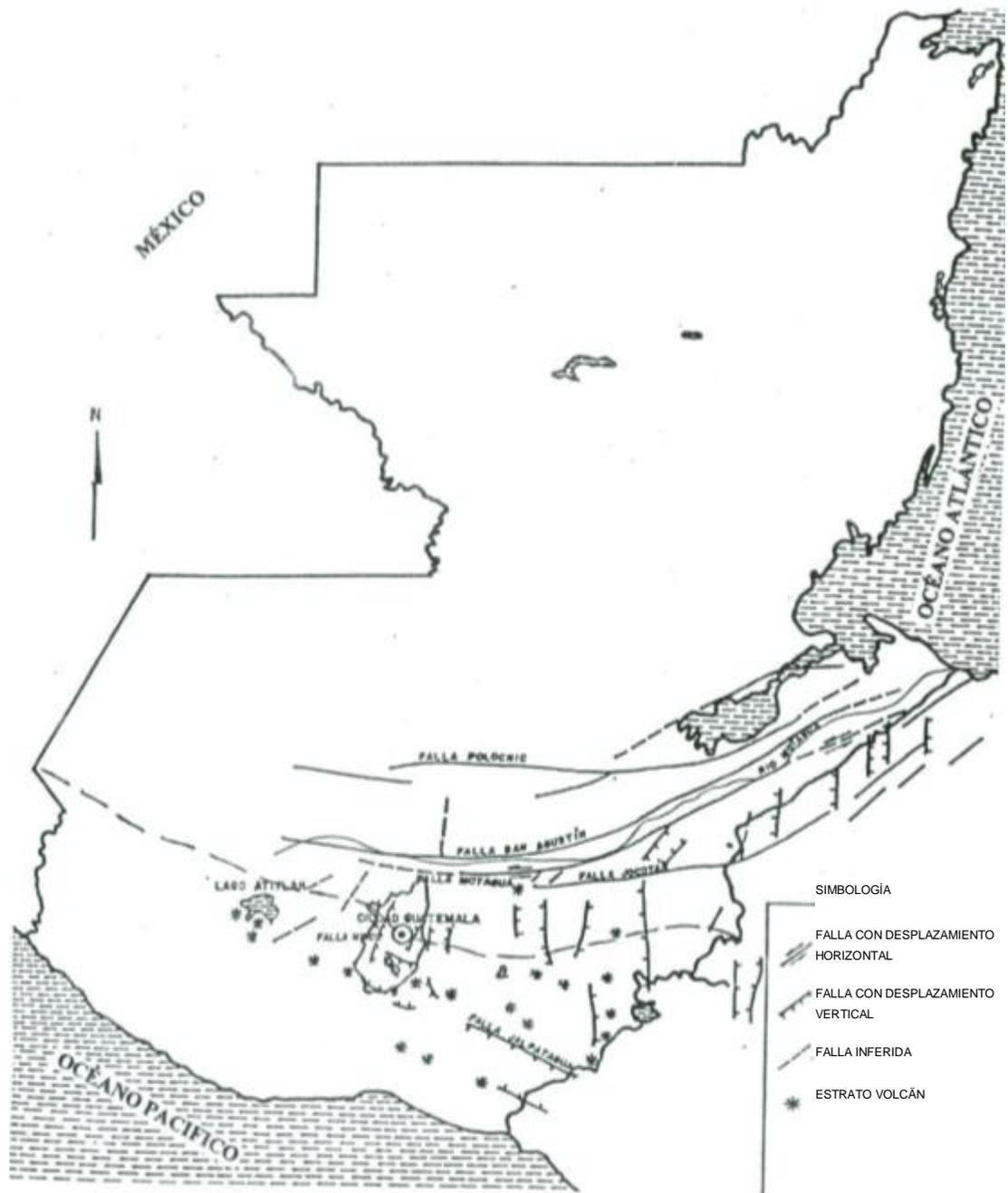
El perfil longitudinal de varios ríos está interrumpido por cataratas con saltos de 1 a unos 15 metros. Estas interrupciones del perfil pueden ser provocadas por la presencia de rocas resistentes debajo de la cubierta de tobas y cenizas volcánicas en el cauce del río o por la presencia de fallas con un desplazamiento vertical.

1.2.2. Estratigrafía general

Las lavas y cenizas volcánicas cuaternarias, con algunas intercalaciones locales relativamente delgadas de sedimentos fluviales, lacustres y paleosuelos forman una cubierta casi continua sobre las rocas terciarias, cretácicas y paleozoicas en el área del presente estudio.

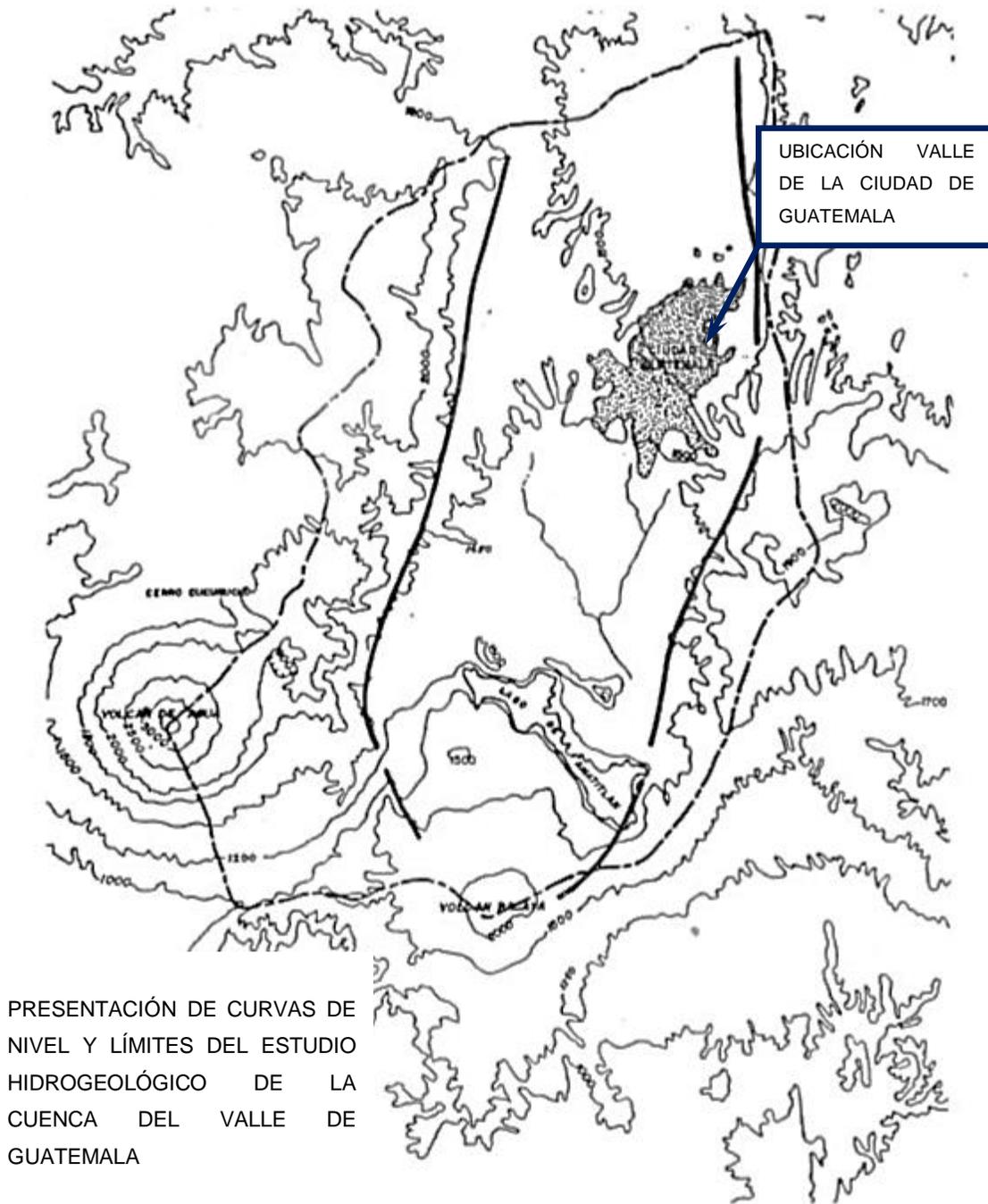
Una columna estratigráfica tentativa de las rocas en esta área se presenta en la figura 4. Las cenizas de los grupos San Cristóbal y Sumpango representan la cubierta volcánica cuaternaria. En el sur del valle de Guatemala se intercalan lavas entre las cenizas.

Figura 2. Relaciones del graven del valle de Guatemala



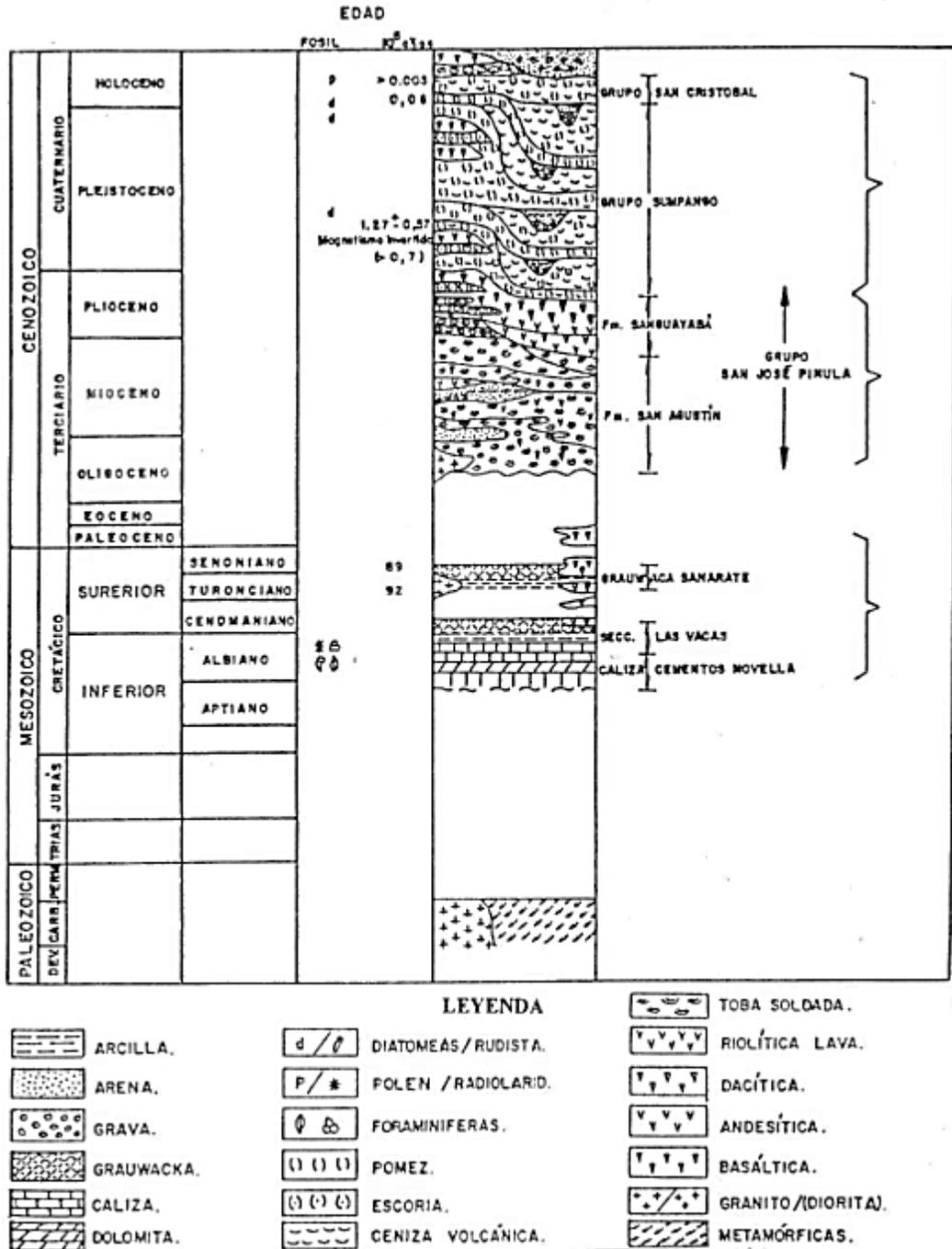
Fuente: INSIVUMEH. Estudio hidrogeológico de la cuenca del valle de Guatemala 1978. p. 28.

Figura 3. **Morfología del valle de Guatemala**



Fuente: INSIVUMEH. Estudio hidrogeológico de la cuenca del valle de Guatemala 1978. p. 29.

Figura 4. Columna estratigráfica de rocas en el valle de Guatemala



Fuente: INSIVUMEH. Estudio hidrogeológico de la cuenca del valle de Guatemala 1978. p. 39.

1.3. Acuíferos en el valle de la ciudad de Guatemala

El agua subterránea en la ciudad capital se encuentra en escurrimiento y almacenada en los materiales que constituyen el relleno de una depresión tectónica o graben, conocida como valle de Guatemala. Los materiales que conforman el relleno son preponderantemente de origen volcánico, con excepción de algunos depósitos aluviales.

Con base en el uso potencial del agua subterránea y desde el punto de vista práctico de la explotación de este recurso, se distinguen en el área de la ciudad capital dos acuíferos, denominados; acuífero superior y acuífero inferior, los cuales por sus características geológicas tienen buena conexión hidráulica entre sí.

1.3.1. Acuífero superior

Este está constituido esencialmente por potentes depósitos cuaternarios de piroclastos pomáceos compactos hasta sueltos, mal clasificados y mal estratificados, en los cuales existen localmente intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres, paleosuelos y lavas. Se han incluido dentro del acuífero superior los sedimentos aluviales depositados en la parte media e inferior de los valles de los ríos Villalobos, Pinula y Las Minas.

Los piroclastos pomáceos forman potentes acumulaciones de cenizas finas a gruesas con lapilli, bombas, pómez y fragmentos líticos de lava andesítica o dacítica.

Los piroclastos pomáceos más compactos se encuentran hacia la parte norte del área, mientras que los piroclastos cuaternarios se encuentran hacia el sur.

En total los piroclastos ocupan en el área del valle de Guatemala aproximadamente 664 kilómetros cuadrados, con espesores que varían desde pocos metros hasta algo más de 250 metros.

Los mayores espesores de piroclastos se encuentran en la parte central del área del valle, donde generalmente sobrepasa los 200 metros, con tendencia a disminuir en los extremos. La granulometría de los piroclastos disminuye de sur a norte, éstos están saturados en un promedio de 38 metros.

Los piroclastos tienen permeabilidad primaria, la cual en su mayoría es baja debido a la presencia de abundante material fino y a su composición misma. Los sedimentos tienen buena permeabilidad, pero debido a su reducido espesor no ejercen mayor influencia sobre el valor total de la permeabilidad del acuífero superior. Los sedimentos lacustres, también en intercalación con los piroclastos, actúan debido a su carácter arcillo limoso, a manera de acuicludos.

Por encima de los depósitos piroclásticos se encuentran los sedimentos aluviales, los cuales ocupan en total un área de 57,5 kilómetros cuadrados.

Los sedimentos aluviales están compuestos de cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas, teniendo de buenas a regulares características de permeabilidad.

1.3.2. Acuífero inferior

Los sedimentos aluviales y los depósitos piroclásticos que conforman el acuífero superior, descansan en gran parte del área primordialmente sobre lavas andesíticas y tobas vítricas soldadas terciarias, y en pocos lugares sobre calizas y granitos cretácicos. Las lavas principalmente y las tobas vítricas soldadas en menor grado, forman el acuífero inferior, el que por sus características de permeabilidad secundaria, extensión y espesor por fracturación y figuración, constituye el principal acuífero del área.

Los afloramientos de lava ocupan un área de aproximadamente 84 kilómetros cuadrados, siendo esporádicos en los extremos este y oeste del valle de Guatemala y continuos en la margen norte y sur del lago de Amatitlán. El espesor total de las lavas y tobas terciarias no es conocido, pero con información obtenida de algunas perforaciones, al parecer es mayor de 220 metros, estando saturadas aproximadamente en los primeros 200 metros. La extensión del acuífero inferior es de aproximadamente 550 kilómetros cuadrados.

La permeabilidad de las lavas y tobas es secundaria y alcanza valores altos, especialmente en la parte sur del área de estudio, debido a que están intensa y profundamente fracturadas. Estas fracturas están abiertas y tienen buena comunicación entre sí. Dentro del acuífero inferior existen distintos niveles con diverso grado de fracturamiento.

La alta permeabilidad de las lavas fracturadas, especialmente andesíticas, se observa en algunos sectores del curso superior del río Pinula, en donde el río las ha cortado. En estos cortes de las lavas fracturadas afloran manantiales, que alimentan el caudal del río.

Las lavas andesíticas se encuentran hacia el sur del área y están más fracturadas que las lavas andesíticas-dacíticas y andesíticas-basálticas del centro y norte, por lo que la permeabilidad de aquellas es mayor que la de estas últimas.

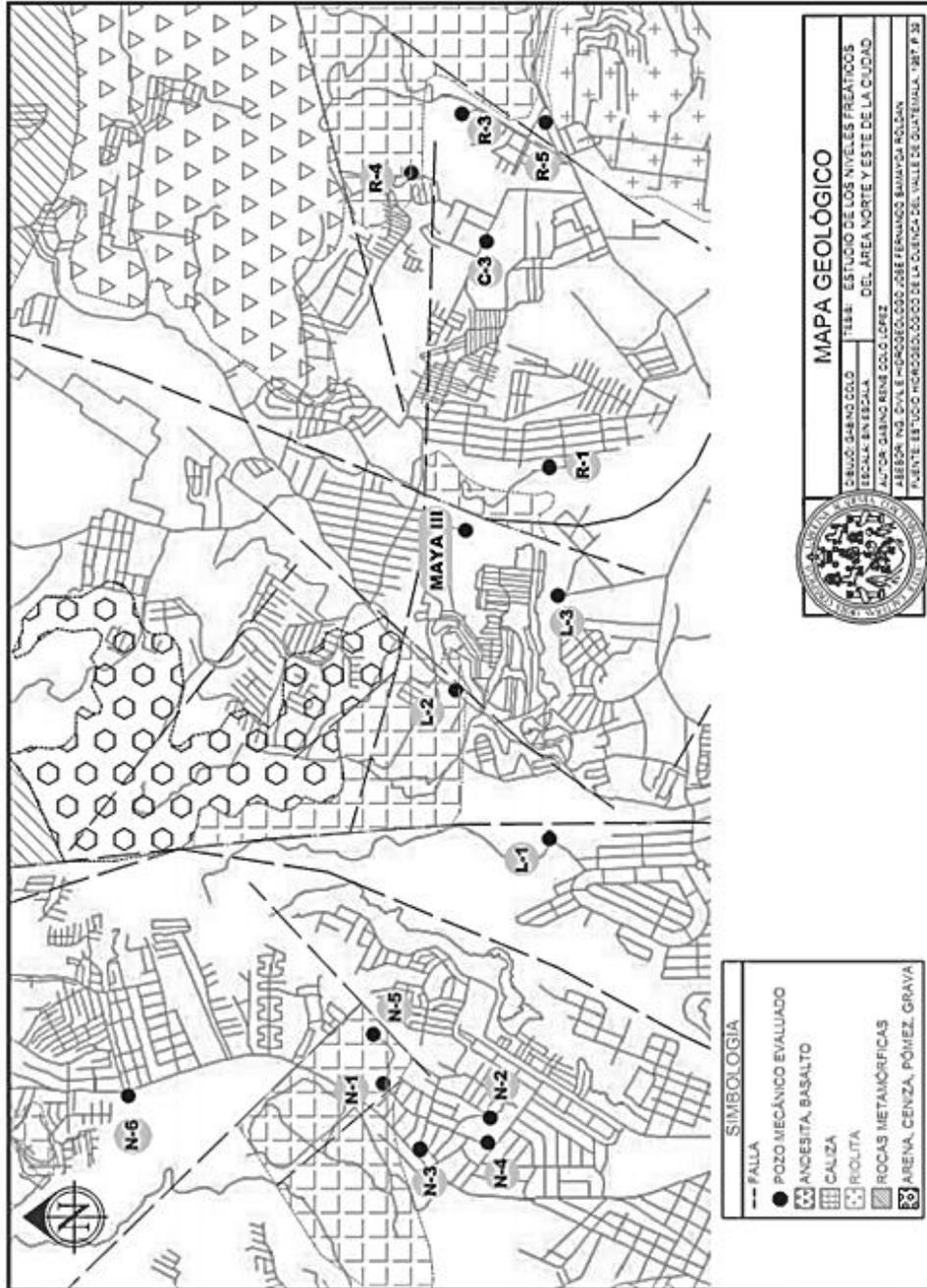
Las tobas soldadas vítricas también tienen una buena fracturación, esto permite una buena circulación de agua a través de ellas.

En la zona norte (figura 5), los acuíferos de mejores características son los que se encuentran en las calizas, hay dos tipos diferentes de calizas, las cuales se mencionan a continuación:

- Calizas de color gris o negro, con capas de esquistos y presencia de sílice, las capas tienen poco espesor
- Calizas de color claro, con fósiles, características de depósitos en zona de barrera de corales, estas calizas están karstificadas.

En la zona norte, los valores de transmisividad son variables y dependen del grado de karstificación o de fracturación. También en esta zona se puede observar afloramientos de calizas, testimonio de un antiguo relieve, separados por valles donde se ha depositado material volcánico.

Figura 5. Mapa geológico del área norte y este de la ciudad de Guatemala



Fuente: INSIVUMEH. Estudio hidrogeológico de la cuenca del valle de Guatemala 1978. p. 39.

2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NIVELES

2.1. Métodos para medición de niveles de pozos

Para obtener la información del nivel estático y dinámico del agua subterránea en pozos se utilizan diferentes métodos. Estos pueden variar dependiendo de las condiciones de los pozos, profundidad del agua, lo práctica que debe ser la medición o el factor económico.

A continuación se describen los métodos más usados para medición de niveles de agua en pozos mecánicos.

2.1.1. Método de la línea de aire

Este método consiste en calcular el nivel del agua a través de la medición de presiones, al inyectar aire a un conducto paralelo a la tubería de bombeo dentro del pozo. Los elementos que componen fundamentalmente este método son:

- Ducto de aire

Este ducto es una tubería de poliducto, con un diámetro de $\frac{1}{4}$ ". Este ducto debe tener la longitud suficiente para mantenerse vertical dentro del pozo. El tubo no debe permitir la entrada de aire para no tener pérdidas de presiones al momento de la medición, colocándose en el extremo superior un manómetro que permite medir la presión de aire dentro del tubo.

El ducto debe tener la capacidad de soportar las presiones de aire necesarias para la medición. El extremo inferior se posiciona a un nivel muy cercano al nivel del equipo de bombeo, para determinar la distancia entre el nivel de agua y el equipo. Este dato es muy importante para asegurar la distancia mínima para seguridad del equipo.

- Inyección de aire

El equipo neumático es necesario para suministrar presión al ducto. La capacidad del equipo depende directamente de la profundidad del pozo y el nivel del agua, ya que es necesario que el equipo inyecte presión al ducto hasta que la presión sea equivalente a la columna de agua sobre el extremo inferior del tubo.

Para el funcionamiento de este sistema de medición se puede contar con un cilindro de aire comprimido para llenar la línea de aire o contar con un compresor adecuado.

2.1.1.1. Procedimiento para medición de nivel con línea de aire

Para realizar los cálculos con este método, se debe conocer la profundidad del pozo y la profundidad del extremo inferior del ducto.

Inicialmente se debe suministrar presión al ducto hasta que en el manómetro se observe que no existe un incremento en la presión. Posteriormente se debe esperar a que el manómetro se estabilice para tomar la lectura de presión. Si la medición se realiza con el equipo de bombeo en

funcionamiento, se estará midiendo el nivel dinámico. Con el equipo de bombeo apagado se medirá el nivel estático.

Con el dato de presión se deberán realizar los siguientes cálculos:

- Convertir la medición de presión en columna de agua.

Para convertir los datos de presión a columna de agua se pueden utilizar los siguientes factores:

1 metro columna de agua: 0,1 kilogramo por centímetro cuadrado
1,42 libras por pulgada cuadrada
3,28 pie columna de agua

Ya que la mayoría de equipos neumáticos y manómetros utilizan el sistema inglés, se usan las dimensionales libras sobre pulgadas cuadradas (PSI) para presión. Por tanto, también son útiles los siguientes factores de conversión:

1 libra por pulgada cuadrada: 0,7042 metros columna de agua
2,31 pies columna de agua
0,704 kilogramos por centímetro cuadrado

- Restar la presión medida

Para conocer el nivel del agua se deberá restar la presión de agua medida (HP) a la profundidad a la que se encuentra el extremo inferior del ducto (HD). El resultado de esta operación es la distancia entre el brocal del pozo y el nivel del agua.

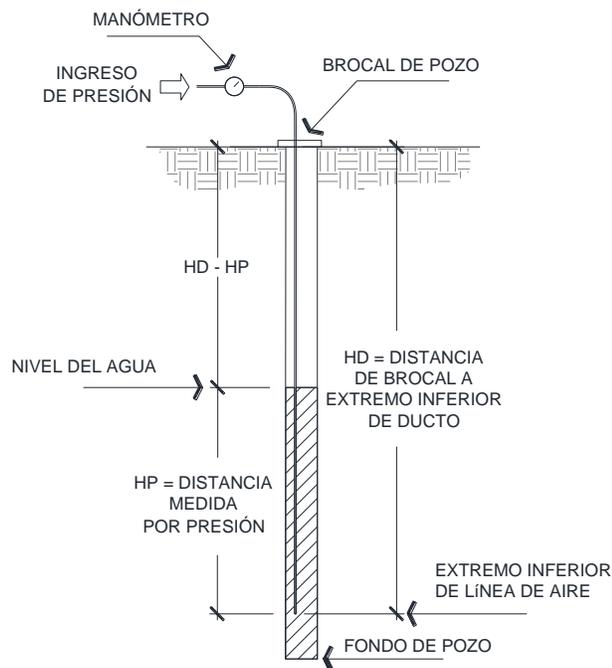
Este método presenta varias desventajas, las que a continuación se describen:

- El ducto de presión debe colocarse conjuntamente con la instalación del equipo.
- Se debe contar con una tubería de poliducto de diámetro $\frac{1}{4}$ ", que no permita la entrada de aire, para así tener una medición confiable de los niveles.
- Se debe utilizar una tubería de poliducto que resista altas presiones y con una longitud igual a la profundidad donde se encuentre instalado el equipo de bombeo del pozo.
- Se debe contar con energía eléctrica para el funcionamiento del compresor. De no contar con energía eléctrica se deberá tener un generador eléctrico para el funcionamiento del compresor.
- Se pueden utilizar cilindros de aire comprimido que puedan suministrar presión a la línea de aire.
- En pozos muy profundos, de más de 1000 pies, el equipo necesario para inyectar la presión para realizar la medición sobrepasa la capacidad de los compresores comerciales comunes y que son prácticos para ser transportados para este método.
- Es una medición estimada de referencia, con un rango de error entre los 5 a 15 metros, dependiendo de la profundidad a la que se coloque la línea de aire.

Dentro de las ventajas que se pueden mencionar en este método están las siguientes:

- Las mediciones son simples y rápidas.
- Este método es preferido en pozos en los que se deben realizar mediciones constantemente.
- Requieren menor esfuerzo físico y tiempo que las mediciones con sonda eléctrica.
- Es más económico que otros métodos.

Figura 6. **Método de medición de nivel por línea de aire**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2010.

2.1.1.2. Ejemplo de medición por el método de línea de aire

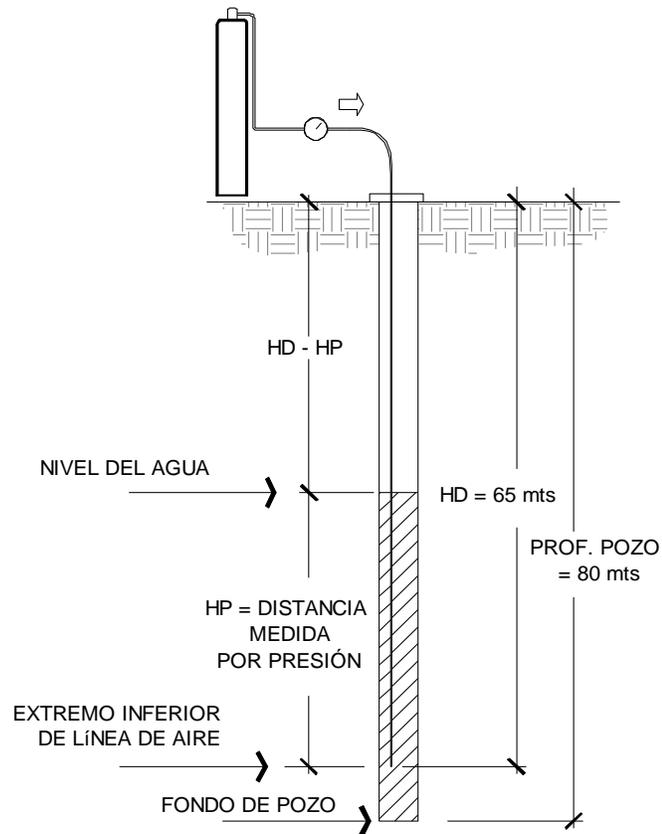
Se realizará la medición de nivel estático a un pozo de 80 metros de profundidad, con el equipo de bombeo instalado a 65 metros de profundidad desde el brocal del pozo.

Se inyecta aire a la tubería de poliducto previamente instalada en el pozo, por medio de un cilindro de aire comprimido. Al llenarse de aire, se retira el cilindro de aire y se observa el manómetro instalado en la tubería. La lectura del manómetro indica una presión de 62,6 libras por pulgada cuadrada.

Para obtener la distancia HP, desde el extremo inferior de la línea de presión hasta el nivel de agua, se debe transformar la medida de presión en metros columna de agua (metros columna de agua):

62,6 libras por pulgada cuadrada x 0,7042 metros columna de agua =
44,08 metros

Figura 7. **Ejemplo del método de medición de nivel por línea de aire**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2010.

Para obtener la distancia desde el brocal del pozo al nivel del agua, se resta la distancia HP (medición de presión) con la distancia HD (distancia del brocal al extremo inferior del ducto), la cual es de 65 metros.

$$\text{Nivel de agua} = \text{HD} - \text{HP}$$

$$\text{Nivel de agua} = 65 \text{ metros} - 44,08 \text{ metros}$$

$$\text{Nivel de agua} = 20,92 \text{ metros}$$

Esto indica que el nivel de agua está a 20,92 metros desde el brocal del pozo. Para obtener la distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel del agua, se resta el nivel de agua a la profundidad del pozo:

Altura de agua total = profundidad pozo – nivel agua

Altura de agua total = 80 metros – 20,92 metros

Altura de agua (desde el fondo del pozo) = 59,08 metros

2.1.2. Método de la sonda eléctrica

Este método es el utilizado en la unidad de electromecánica de EMPAGUA. La ventaja principal de este método es que no necesita energía eléctrica para el compresor y el único equipo que se necesita es una sonda eléctrica, de una longitud adecuada a la profundidad del pozo y que tendrá un costo relativo a esta longitud.

2.1.2.1. Procedimiento para medición con sonda eléctrica

Este método utiliza una sonda eléctrica, la cual consiste básicamente en una cinta de alta resistencia, con marcas en metros y/o pies y en el extremo, un electrodo con una línea de corriente conectada a una batería en la base de la cinta. El extremo de la cinta se introduce dentro del pozo y al momento que el extremo de la cinta con el electrodo hace contacto con el agua, se produce el cierre del circuito eléctrico, con lo cual se activa una alerta que puede ser luminosa, de sonido o ambas, para advertir que se ha alcanzado el nivel del agua. Algunas sondas cuentan con un sistema mecánico que permite desenrollar y envolver la cinta de forma automática.

Para este método es necesario que el pozo cuente con un piezómetro instalado dentro del mismo, que tenga una longitud para llegar al nivel del equipo de bombeo y que tenga su extremo superior accesible para poder introducir en él la sonda eléctrica. Este ducto tiene la función de evitar que la sonda se enrede u obstruya con los cables eléctricos o el equipo de bombeo. Comúnmente este ducto es tubería de PVC de diámetro $\frac{3}{4}$ de pulgada hasta diámetro $1 \frac{1}{4}$ de pulgada, dependiendo del diámetro del pozo. Se instala paralelo a la tubería de bombeo.

Figura 8. **Sonda eléctrica con base simple**



Fuente: www.solinst.com. Consulta: 15 de diciembre de 2013.

Figura 9. **Sonda eléctrica con carrete motorizado**



Fuente: www.solinst.com. Consulta: 15 de diciembre de 2013.

Figura 10. **Introducción de sonda eléctrica en el ducto de medición**



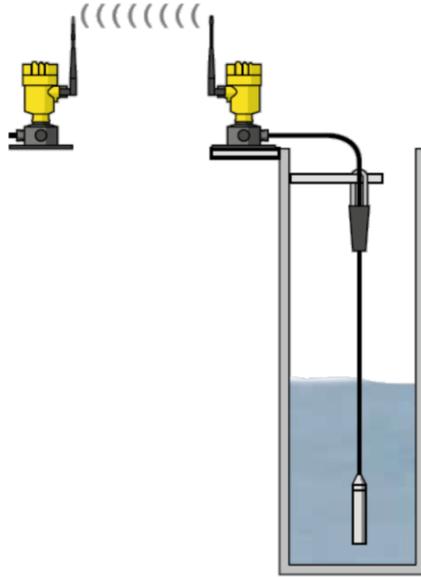
Fuente: www.solinst.com. Consulta: 15 de diciembre de 2013.

2.1.3. Método de medición automática

La medición automática de niveles se realiza a través de registradores de nivel instalados en los pozos y son instrumentos para la medición de niveles y control de calidad de agua en pozos y tienen una amplia gama de funciones que pueden ser la medición de niveles, temperatura, conductividad, salinidad, presión. Estos sistemas funcionan a través de un datalogger, el cual es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.

Casi todos están basados en microcontroladores. Por lo general son pequeños, con pilas y equipados con un microprocesador, memoria interna para el almacenamiento de datos y sensores. Los registradores de nivel pueden ser leídos y programados *in situ* o vinculados a un sistema telemétrico para una administración remota.

Figura 11. **Método de medición automática**



Fuente: www.vega.com. Consulta: 15 de diciembre de 2013.

La mayoría de registradores de datos se comunican con un ordenador personal y utilizan software específico para activar el registrador de datos y extraer y analizar los datos recogidos. Otros tienen un dispositivo de interfaz local y pueden ser utilizados como un dispositivo independiente.

Este sistema de medición automática es comúnmente usado para el control de niveles y calidad del agua en pozos cuando son muy numerosos, ya que facilita en gran manera la recopilación y análisis de datos. Este método es el más exacto, con un error de medición de 0,05 por ciento, pero debido a la inversión inicial en equipo y software, es el método más oneroso.

Figura 12. **Registrador de nivel con sistema telemétrico**



Fuente: www.vega.com. Consulta: 15 de diciembre de 2013.

3. EVALUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

3.1. Antecedentes de la explotación de agua en la ciudad

En el área metropolitana de la ciudad de Guatemala, los servicios de agua potable son prestados principalmente por la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA), de la Municipalidad de Guatemala. Los servicios de agua que suministra la empresa estuvieron limitados al área urbana del municipio; pero debido al crecimiento del casco urbano y a la creciente demanda de los pobladores en municipios limítrofes, el servicio también se ha prestado también en las áreas colindantes a la ciudad. El servicio se presta por medio de conexiones domiciliarias provistas con medidor de consumo.

Para el suministro del servicio de agua, EMPAGUA cuenta con 7 fuentes: tres sistemas de agua superficial por gravedad conocidos como Teocinte-Santa Luisa, La Brigada y Xayá-Pixcayá, que son acueductos que traen el agua de áreas vecinas distantes hasta 65 kilómetros; un sistema con agua superficial combinado gravedad y bombeo (El Cambray); un sistema de agua superficial por bombeo (Las Ilusiones); un sistema de bombeo en un campo de pozos (Ojo de Agua) y un conjunto de 66 pozos localizados en el área urbana de la ciudad, los cuales incluyen los 34 pozos que conforman el sistema emergencia 1.

En 1982, cuando fue concluido el Plan Maestro de Abastecimiento de Agua para la ciudad de Guatemala (PLAMABAG), se estimó que el acuífero subterráneo localizado en el valle de la ciudad de Guatemala poseía una recarga de unos 100 a 120 millones de metros cúbicos por año y se definió que

una explotación de 1 metros cúbicos por segundo, durante un período de diez a 15 años sería recomendable desde el punto de vista hidrológico y técnico.

Según aproximaciones que hizo el INSIVUMEH en 1978, el balance hídrico para las subcuencas norte y sur del área de la ciudad era negativo. Se menciona el descenso de los niveles de agua de los distintos pozos existentes. Dentro del Proyecto de Rehabilitación del Abastecimiento de Agua de la Ciudad de Guatemala (REAGUA) se elaboró un mapa de diferencias de niveles entre los años 1968 y 1988 que mostró diferencias de niveles de hasta 30 metros en algunos puntos. En promedio, el descenso de niveles era de 0,9 metros por año.

Conjuntamente con el crecimiento de la población en la ciudad capital, aumenta la demanda de agua, la cual tiene un mayor costo en su aprovechamiento debido a la búsqueda de acuíferos más profundos. Además, el crecimiento de la ciudad con una marcada tendencia a impermeabilizar las superficies con techos, calles, patios y asfalto, impide que la lluvia se infiltre para recargar los mantos acuíferos en el área de la ciudad.

3.2. Sistema Emergencia 1

En 1999, EMPAGUA obtenía el 55 por ciento del agua de caudales superficiales y el 45 por ciento restante de los pozos. En el 2000, EMPAGUA ejecutó el Plan de Emergencia 1, consistente en la perforación de 34 nuevos pozos profundos, cambiando el porcentaje a un 39 por ciento del abastecimiento a la ciudad con captaciones superficiales y en un 61 por ciento con agua de origen subterráneo.

3.3. Sectores del sistema Emergencia 1

Los pozos que componen el sistema se encuentran ubicados en las zonas 6, 10, 15, 16, 17, 18 y 24 (figura 6), identificados como sectores: Norte, Vista Hermosa, Canalitos I y II, Lavarreda y El Rodeo.

De los 34 pozos del Sistema de Pozos de Emergencia I, se encuentran fuera de operación 3 pozos en el área de Canalitos por conflictos con los habitantes del sector, 2 pozos por daños en los equipos, 1 pozo por recuperación de acuífero y 1 pozo por calidad del agua. La producción promedio diaria es de 56,000 metros cúbicos, equivalente a 646 litros por segundo.

Para el presente trabajo se analizaron los sectores Norte, Lavarreda y El Rodeo, los cuales están localizados en el área Norte y Este de la ciudad y son las áreas que presentan mayor dificultad para el abastecimiento de agua (figura 7).

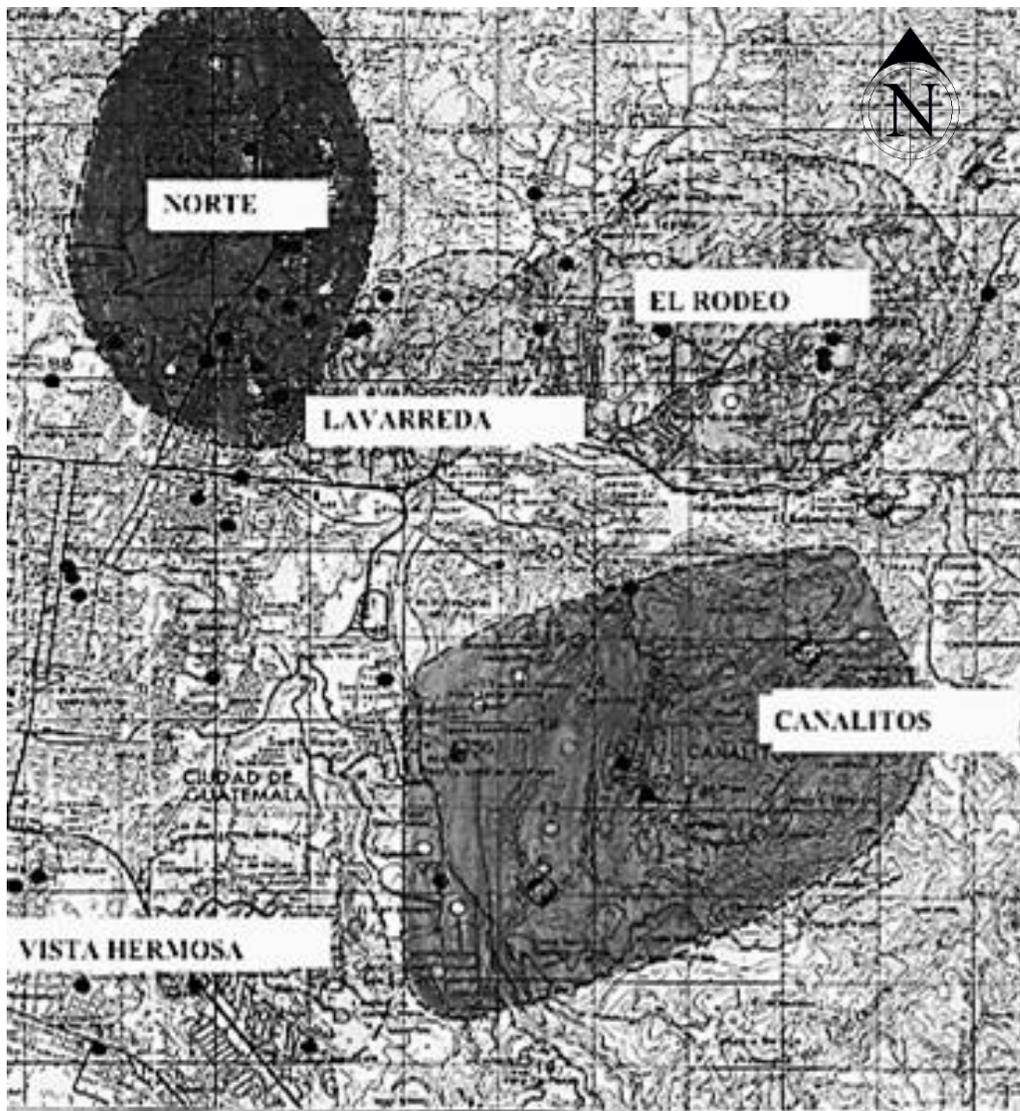
3.3.1. Vulnerabilidad del sistema

El sistema de pozos Emergencia I, presenta una serie de riesgos debido a factores externos como:

- Deforestación e impermeabilización en zonas de recargas tales como San Pedro Sacatepéquez, Chinautla, Mixco, San Lucas, Acatán, Santa Catarina Pinula, San José Pinula y áreas de influencia.
- Impermeabilización del Valle de la ciudad y áreas vecinas, por el desarrollo urbanístico.

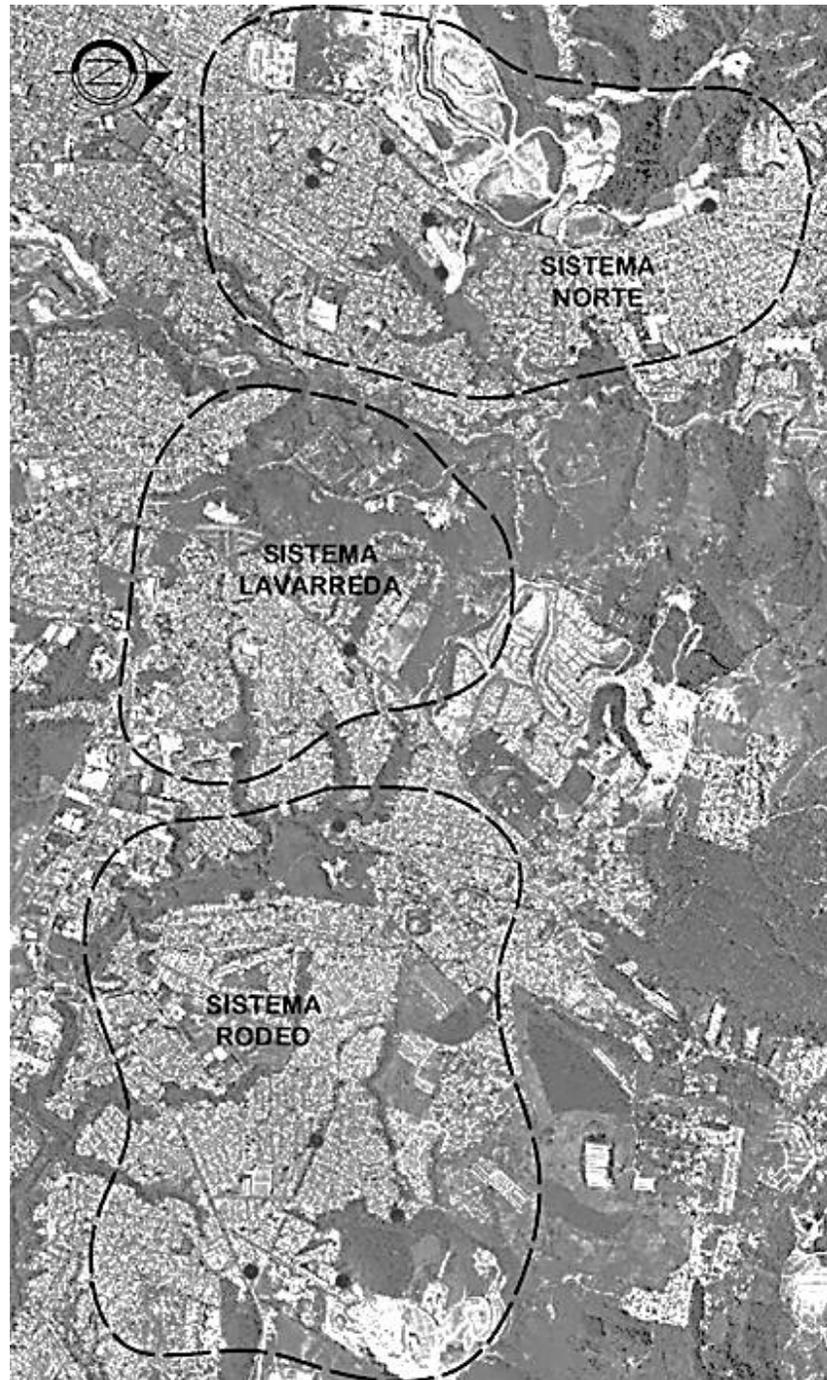
- Aumento de la demanda de agua, lo que conlleva el aumento de la explotación de los acuíferos.
- Inestabilidad en el servicio de suministro de energía eléctrica.

Figura 13. **Sectores del sistema Emergencia 1**



Fuente: EMPAGUA. Sistema de pozos.

Figura 14. Ubicación de pozos del sector Norte, Rodeo y Lavarreda



Fuente: EMPAGUA. Sistema de pozos.

3.4. Información obtenida

Se realizó una visita a cada pozo en estudio, para obtener la información de producción actual y la medición del nivel estático. La medición de nivel se hizo a través del método de sonda eléctrica utilizando una sonda manual y se realizó en el mes de noviembre del 2011. La tabla I presenta los datos obtenidos:

Tabla I. Información recopilada en campo

POZO	SECTOR	ZONA	PROFUNDIDAD (Metros)	NIVEL ESTÁTICO (Metros)	PRODUCCIÓN (Litros por segundo)
N-1	Norte	6	396	255,5	48
N-2	Norte	6	366	260,4	0
N-3	Norte	6	396	260,8	30
N-4	Norte	6	351	267,5	10
N-5	Norte	6	427	250	25
N-6	Norte	6	451	122,7	1
L-1	Lavarreda	18	421	288,5	17
L-2	Lavarreda	18	399	353,17	24
L-3	Lavarreda	18	400	316,9	14
R-3	Rodeo	18	411	330	8
R-4	Rodeo	18	396	277,3	25
R-5	Rodeo	18	396	284,5	20
R-1	Rodeo	18	415	300	0
C-3	Rodeo	18	396	292	42
Maya III	Rodeo	18	427	280	23

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el pozo N-2 no presenta producción. Esto es debido a problemas con el acuífero. En el caso del pozo R-1, no se tiene producción actualmente debido a problemas con el equipo de bombeo.

Figura 15. Introducción de sonda en pozo



Fuente: pozo N-2.

Figura 16. Medición de nivel con sonda eléctrica



Fuente: pozo N-2.

Los datos de medición de niveles realizada en campo, se agrupó con los datos del Departamento de Electromecánica y se tabularon para obtener las tablas y gráficas siguientes, en las cuales se presenta el comportamiento del nivel freático por pozo.

Los años que no se cuenta con datos de nivel estático o producción, se realizó un promedio con los años anterior y posterior, los cuales se identificaron en las gráficas con un círculo.

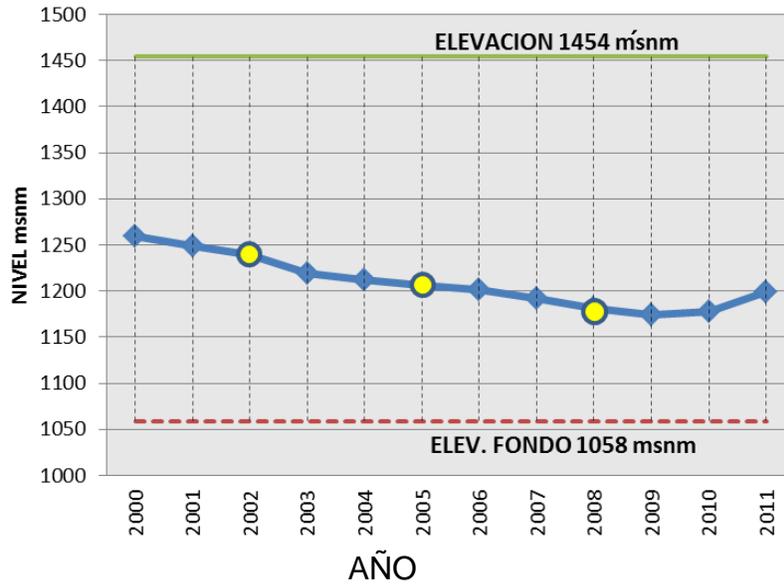
De estos resultados se estableció que existe un descenso promedio de 5,28 metros por año, para los 15 pozos que se ubican en el área norte y este de la ciudad, de los 34 pozos que componen el sistema Emergencia 1.

Tabla II. **Tabla de comportamiento de niveles por año de pozo N-1**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	194,8	1259,4	50
2001			42
2002	215	1239,2	50
2003	235,4	1218,8	41
2004			48
2005	248,45	1205,75	44
2006	252,37	1201,83	39
2007			38
2008	272,75	1181,45	38,45
2009	280	1174,2	40,54
2010	276,25	1177,95	45
2011	255,5	1198,7	48

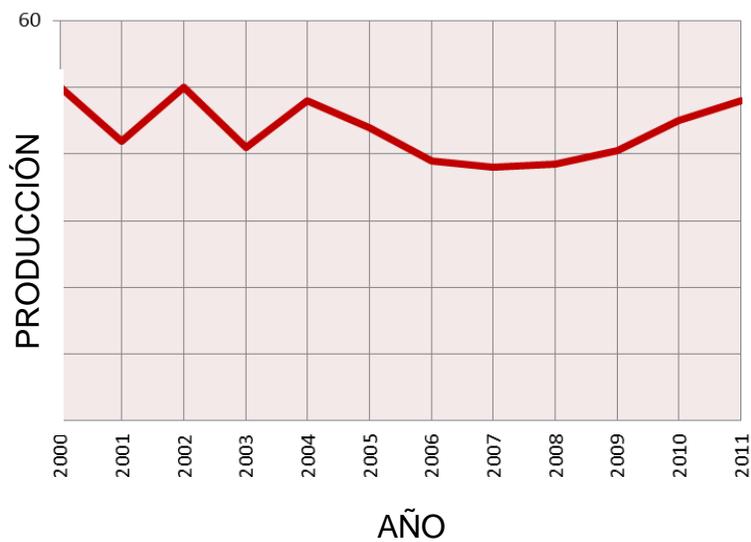
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Gráfica de producción por año de pozo N-1**



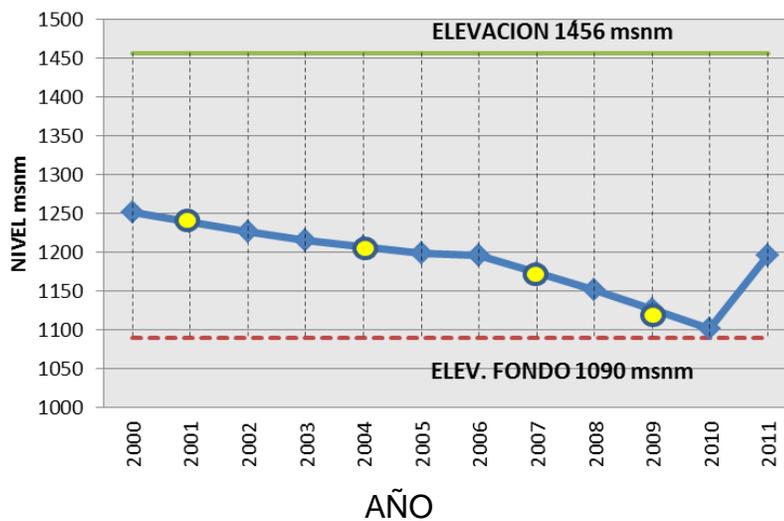
Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Comportamiento de niveles por año de pozo N-2

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	205	1251,41	28
2001			19
2002	229,5	1226,91	21
2003	241,46	1214,95	19
2004			17
2005	257,95	1198,46	12
2006	260,65	1195,76	5
2007			8
2008	305,25	1151,16	9,76
2009			9,75
2010	355,55	1100,86	12
2011	260,4	1196,01	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-2



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Gráfica de producción por año de pozo N-2**



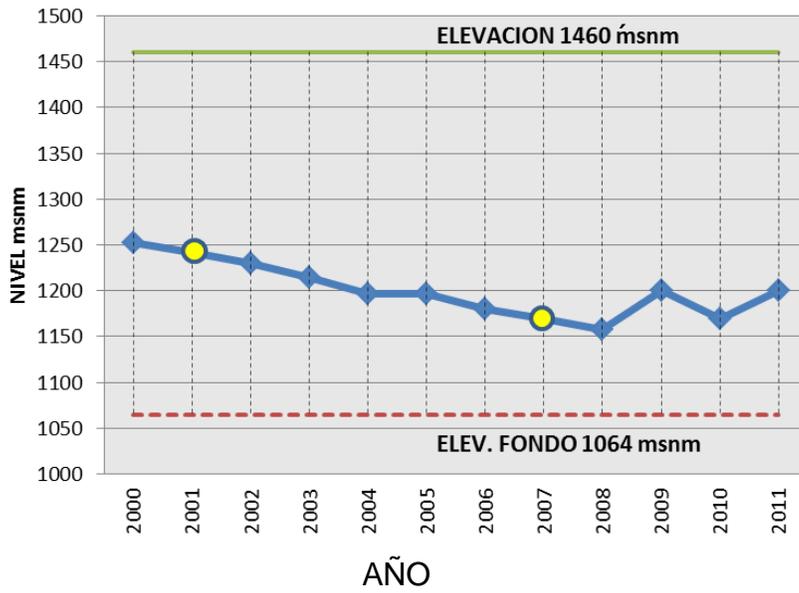
Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Comportamiento de niveles por año de pozo N-3**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	208,1	1252,43	60
2001			42
2002	230,9	1229,63	41
2003	246	1214,53	39
2004	263,52	1197,01	25
2005	263,4	1197,13	27
2006	280	1180,53	25
2007			21
2008	302,54	1157,99	23,78
2009	260	1200,53	24,97
2010	290,72	1169,81	
2011	260,8	1199,73	30

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Gráfica de producción por año de pozo N-3**



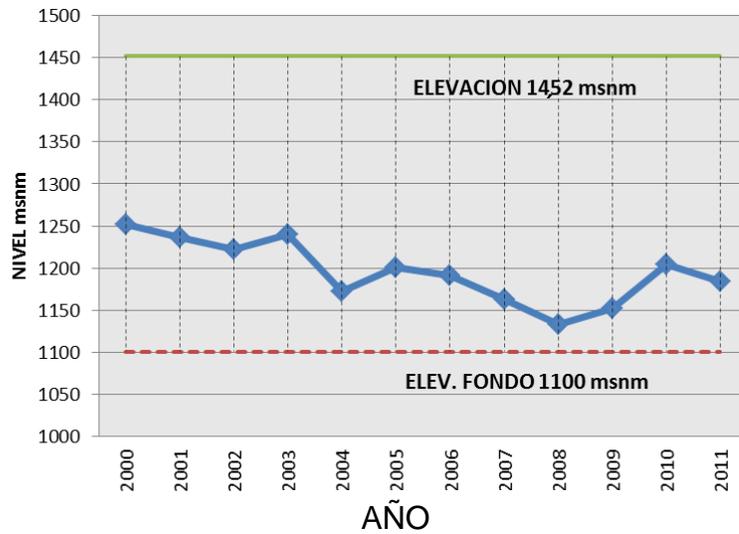
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Comportamiento de niveles por año de pozo N-4**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	200	1251,79	20
2001			29
2002	229,95	1221,84	12
2003	211,79	1240	15
2004	279,6	1172,19	15
2005	251,3	1200,49	11
2006	260	1191,79	19
2007			17
2008	319,15	1132,64	17,58
2009	300	1151,79	14,72
2010	247,43	1204,36	
2011	267,5	1184,29	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-4**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfica de producción por año de pozo N-4**



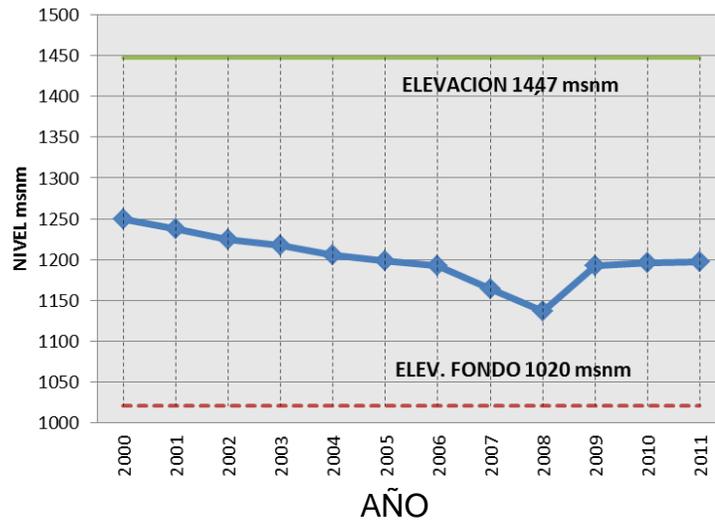
Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Comportamiento de niveles por año de pozo N-5**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	198	1249,37	35
2001			6
2002	222,3	1225,07	21
2003	229,98	1217,39	31
2004	242,03	1205,34	30
2005			31
2006	255	1192,37	29
2007			29
2008	311,05	1136,32	31,51
2009	255	1192,37	33,23
2010	251	1196,37	
2011	250	1197,37	25

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-5**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Gráfica de producción por año de pozo N-5**



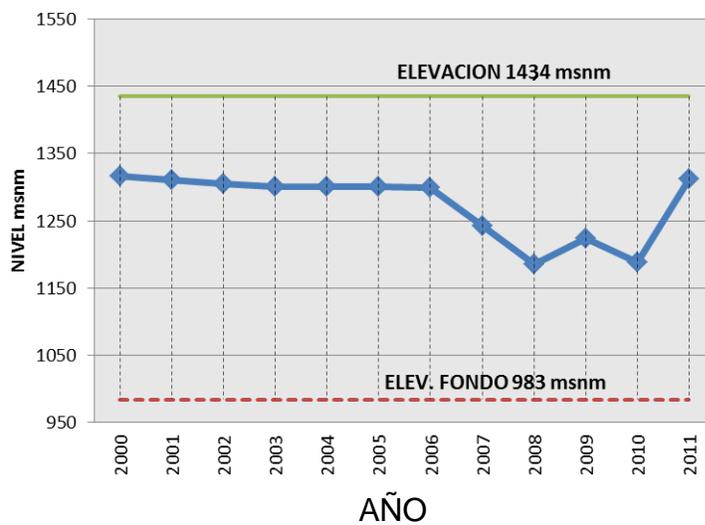
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Comportamiento de niveles por año de pozo N-6

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	118	1316,76	10
2001			3
2002	130	1304,76	3
2003	134,76	1300	2
2004			3
2005			2
2006	135	1299,76	2
2007			2
2008	250	1184,76	0,97
2009	211	1223,76	1,25
2010	246,22	1188,54	
2011	122,7	1312,06	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo N-6



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Gráfica de producción por año de pozo N-6



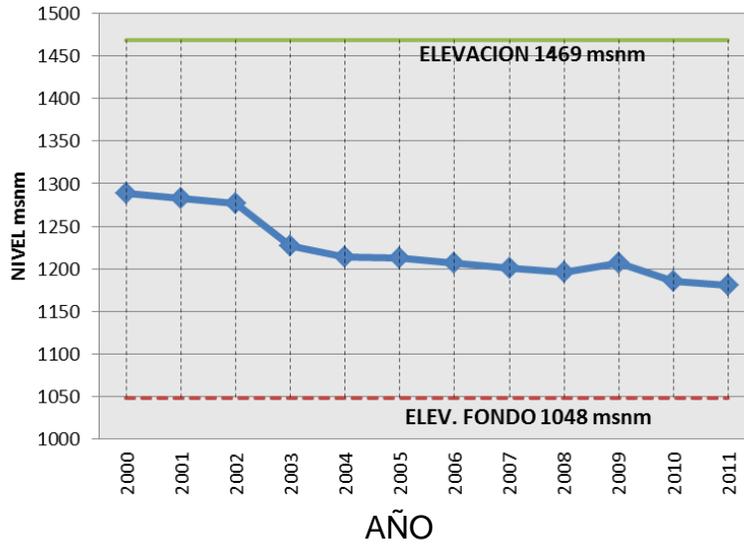
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Comportamiento de niveles por año de pozo L-1

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	180	1289,05	40
2001			20
2002	192	1277,05	20
2003	242,3	1226,75	21
2004	255,48	1213,57	17
2005	257	1212,05	11
2006	262,34	1206,71	10
2007			4
2008	273,4	1195,65	14,87
2009	262,34	1206,71	7,27
2010	284,26	1184,79	
2011	288,5	1180,55	17

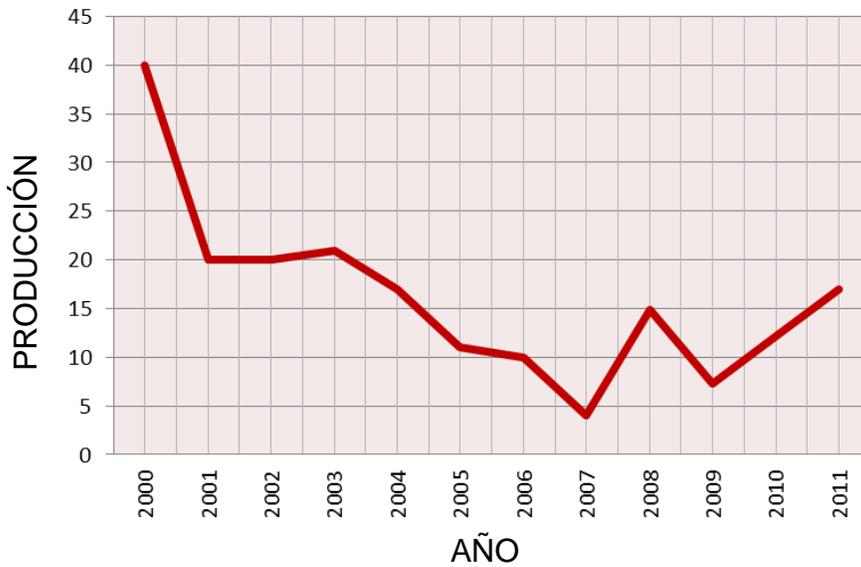
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo L-1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Gráfica de producción por año de pozo L-1**



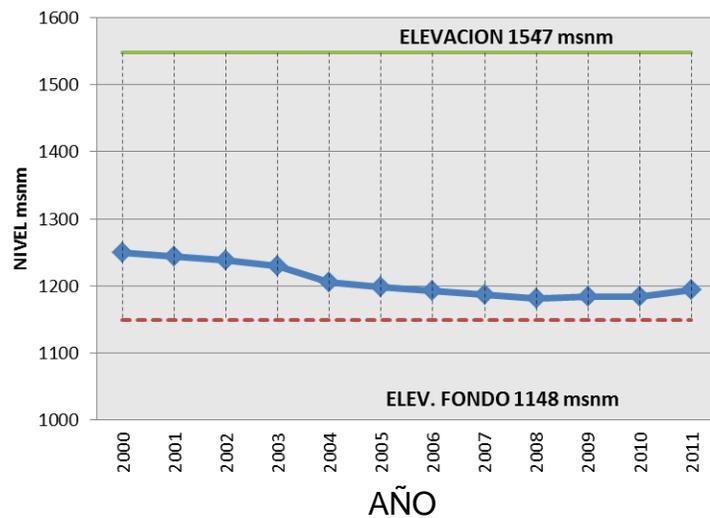
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Comportamiento de niveles por año de pozo L-2**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	297,8	1249,53	35
2001			21
2002	309	1238,33	20
2003	317,33	1230	22
2004	342	1205,33	22
2005			26
2006	355	1192,33	25
2007			24
2008	365,75	1181,58	23,32
2009	362,87	1184,46	22,51
2010	363,9	1183,43	
2011	353,17	1194,16	24

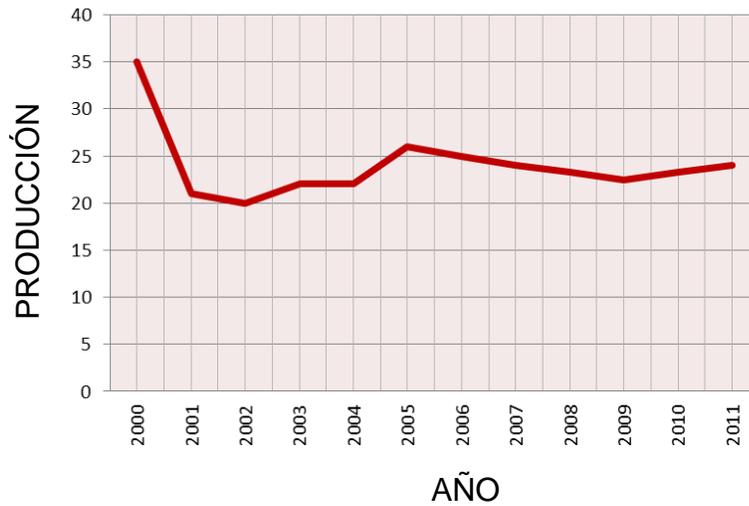
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo L-2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Gráfica de producción por año de pozo L-2**



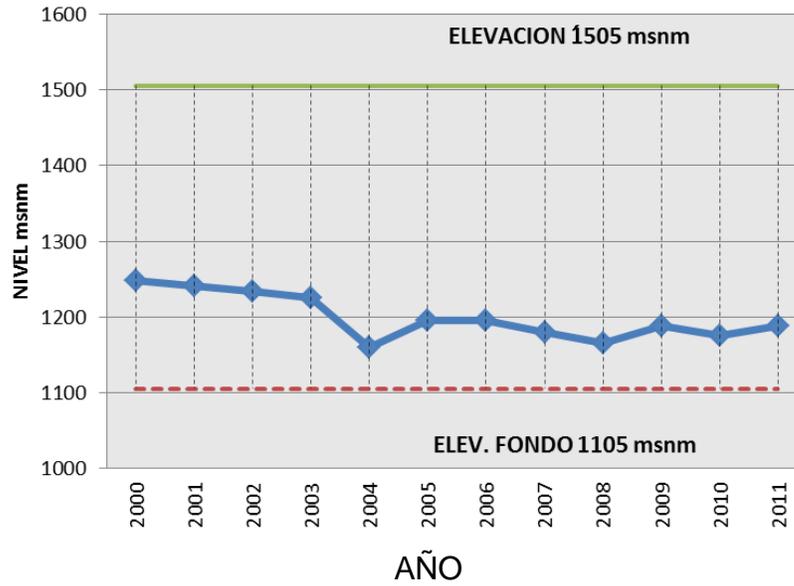
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Comportamiento de niveles por año de pozo L-3**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	256,9	1248,49	40
2001			22
2002	272	1233,39	22
2003	280,39	1225	17
2004	345,6	1159,79	21
2005	309,83	1195,56	18
2006	310,8	1194,59	18
2007			11
2008	340	1165,39	12,74
2009	316,67	1188,72	7,47
2010	329,96	1175,43	
2011	316,9	1188,49	14

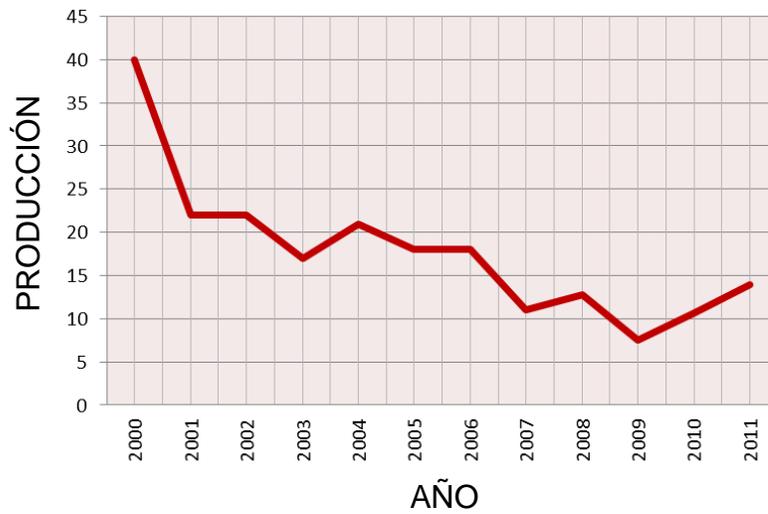
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo L-3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Gráfica de producción por año de pozo L-3**



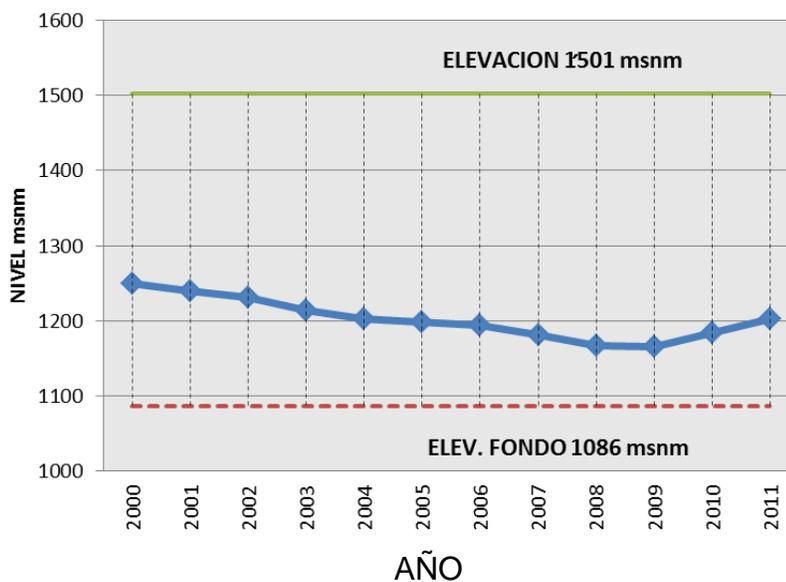
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Comportamiento de niveles por año de pozo R-1

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	253	1 248,92	40
2001			25
2002	271	1 230,92	27
2003	287,9	1 214,02	18
2004	299,4	1 202,52	19
2005			18
2006	307,5	1 194,42	17
2007	0	0	17
2008	335	1 166,92	15,22
2009	336	1 165,92	4,75
2010			
2011	300	1 201,92	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-1



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Gráfica de producción por año de pozo R-1



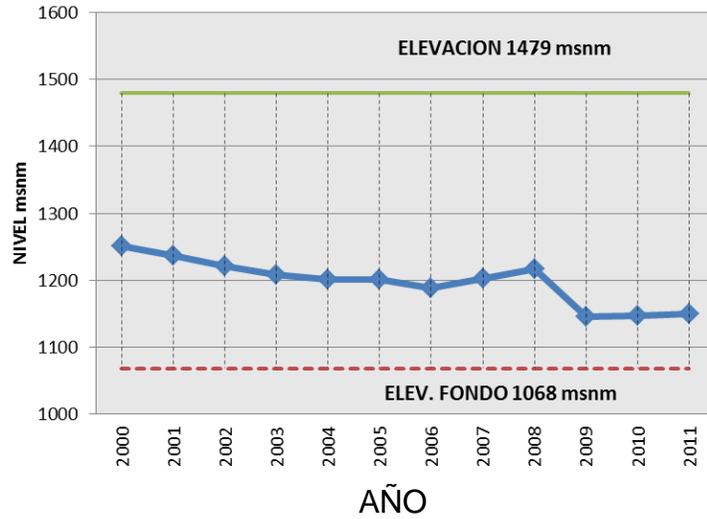
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Comportamiento de niveles por año de pozo R-3

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	228,6	1250,62	10
2001			
2002	257,85	1 221,37	
2003	271,22	1 208	
2004	278	1 201,22	6
2005	278	1 201,22	7
2006	290,7	1 188,52	6
2007			7
2008	262,7	1 216,52	6,41
2009	333,47	1 145,75	6,99
2010	332,7	1 146,52	
2011	330	1 149,22	8

Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Gráfica de producción por año de pozo R-3**



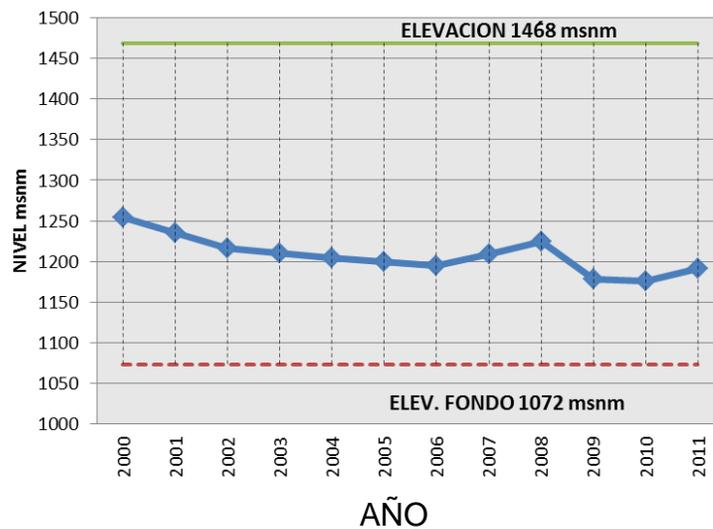
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Comportamiento de niveles por año de pozo R-4

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	215	1 253,89	38
2001			
2002	253	1 215,89	
2003	259,2	1 209,69	
2004			25
2005			24
2006	273,85	1 195,04	19
2007			17
2008	245	1 223,89	15,14
2009	290,78	1 178,11	24,92
2010	293,53	1 175,36	
2011	277,3	1 191,59	25

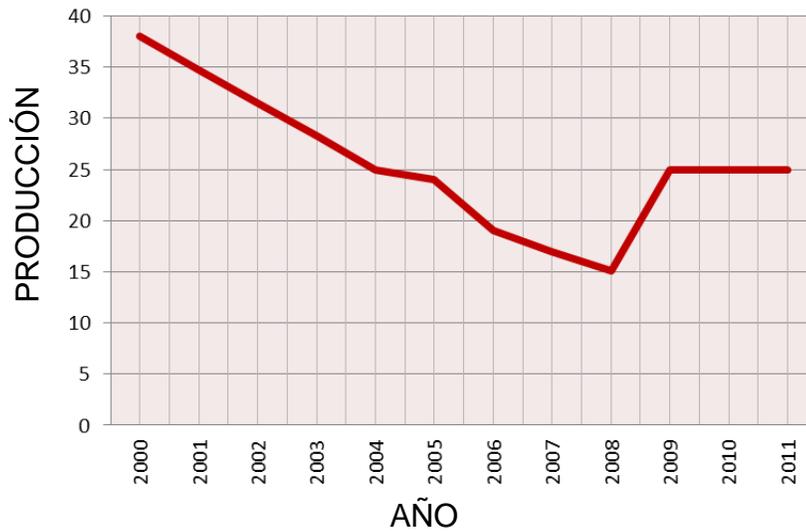
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-4



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Gráfica de producción por año de pozo R-4**



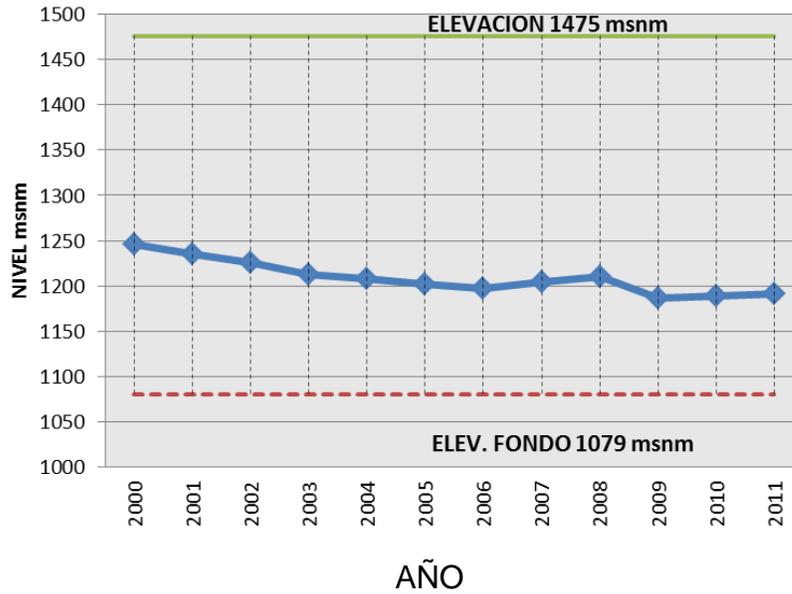
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Comportamiento de niveles por año de pozo R-5**

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	230	1 245,73	40
2001			
2002	250	1 225,73	
2003	262,85	1 212,88	
2004			28
2005			27
2006	279	1 196,73	26
2007			26
2008	265	1 210,73	26,46
2009	288,85	1 186,88	14,21
2010			
2011	284,5	1 191,23	20

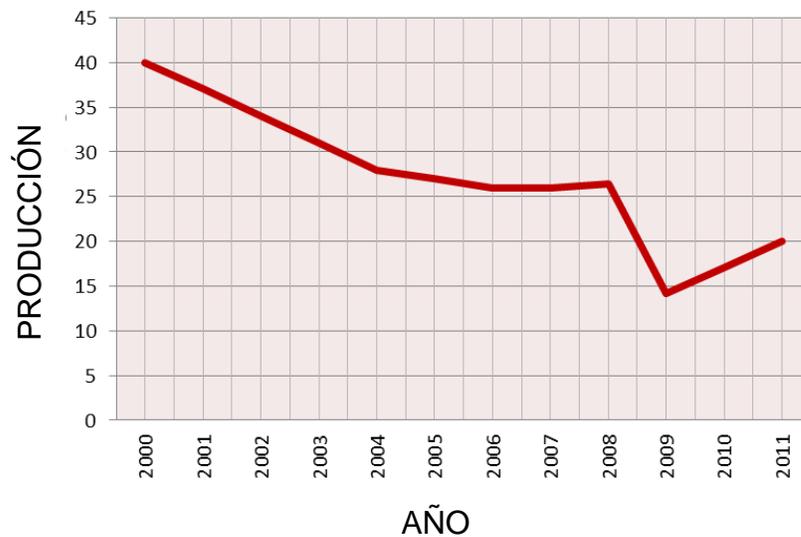
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo R-5**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Gráfica de producción por año de pozo R-5**



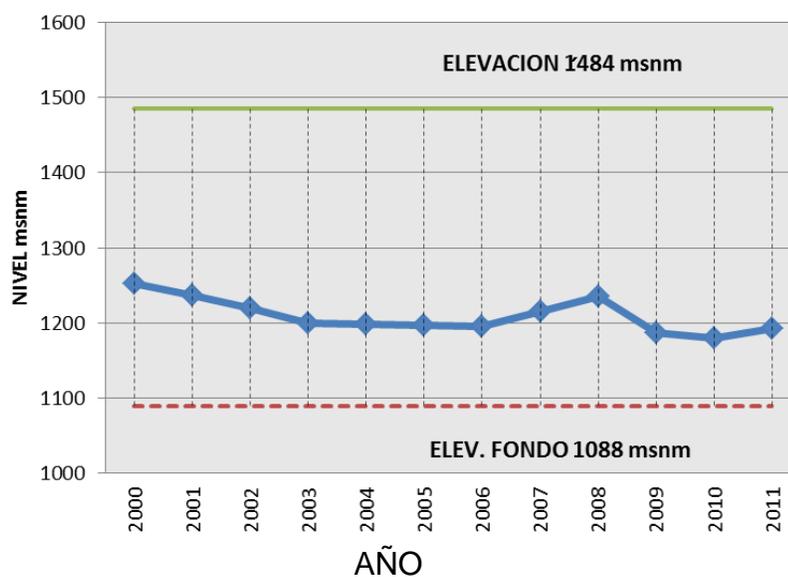
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Comportamiento de niveles por año de pozo C-3

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	231,9	1 252,98	50
2001			26
2002	265,13	1 219,75	26
2003	284,88	1 200	26
2004			28
2005			27
2006	290,2	1 194,68	27
2007			32
2008	250	1 234,88	34,75
2009	297,8	1 187,08	33,53
2010	305,7	1 179,18	
2011	292	1 192,88	42

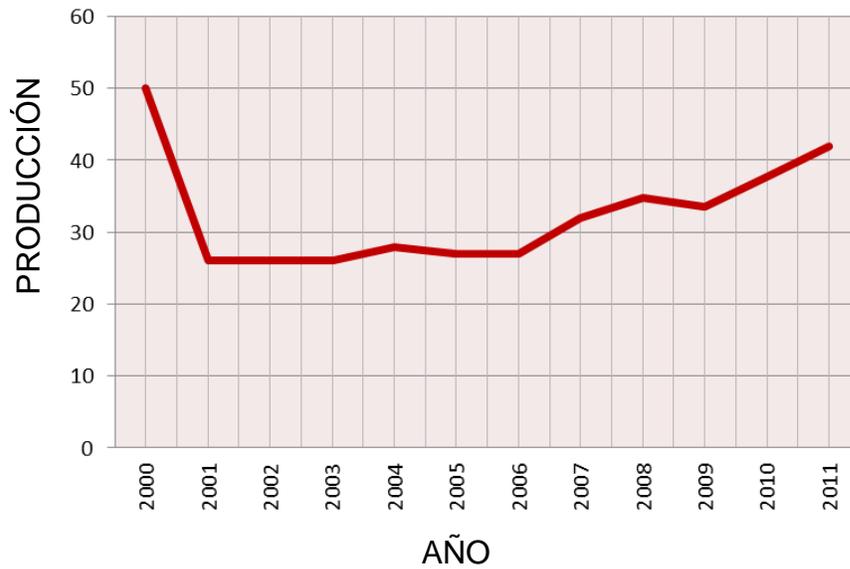
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Gráfica de comportamiento de niveles por año de pozo C-3



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Gráfica de producción por año de pozo C-3



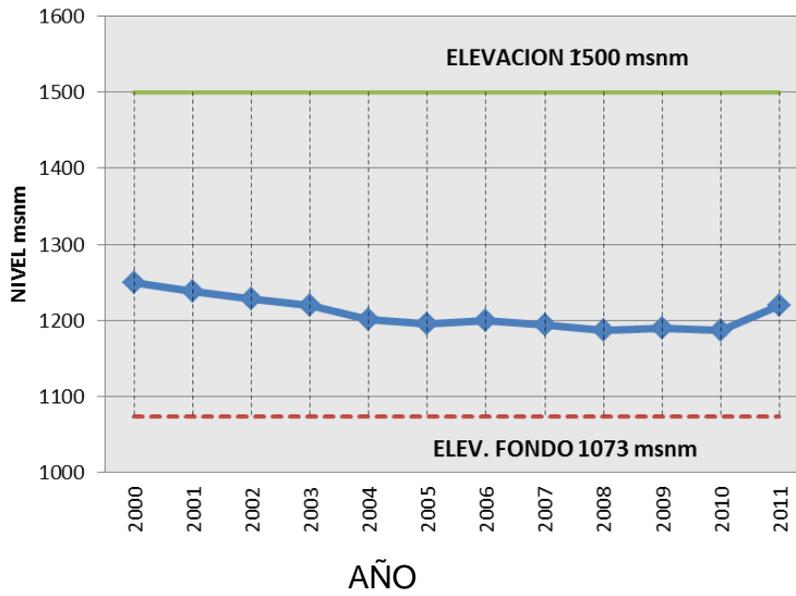
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Comportamiento de niveles por año de pozo Maya III

AÑO	PROF. NIVEL ESTÁTICO	ELEV. NIVEL ESTÁTICO	PROD. L/S
2000	250	1 250	50
2001			47
2002	272,6	1 227,4	47
2003	280	1 220	40
2004	298,96	1 201,04	29
2005	304	1 196	22
2006	300	1 200	23
2007			22
2008	313,1	1 186,9	19,08
2009	310,15	1 189,85	21,94
2010	312,63	1 187,37	
2011	280	1 220	23

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Comportamiento de niveles por año de pozo Maya III**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Gráfica de producción por año de pozo Maya III**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Análisis de la información

Con la información tabulada, se puede analizar el comportamiento promedio del nivel freático. Con estos datos se elaboró la gráfica No 47, presentando la variación de niveles en los pozos del sistema Emergencia 1.

Para analizar el comportamiento de niveles de los pozos, se realizaron diversas graficas con curvas de variación de nivel por sector, siendo estas la figura 48 para el sistema norte, figura 49 para el sistema Lavarreda y figura 50 para el sistema El Rodeo.

Los datos se tabularon y se presentaron en la tabla XVII, mostrando el comportamiento promedio de cada pozo. De estos resultados se resaltan las siguientes observaciones:

- Los pozos que presentan mayor descenso de nivel por año son los pozos L-1 y R-3.
- Todos los pozos presentan reducción de su producción.
- El pozo L-1 presenta la mayor disminución de su producción, reduciéndose de 40 a 17 litros por segundo, lo que representa una disminución del 57,5 por ciento de su producción.

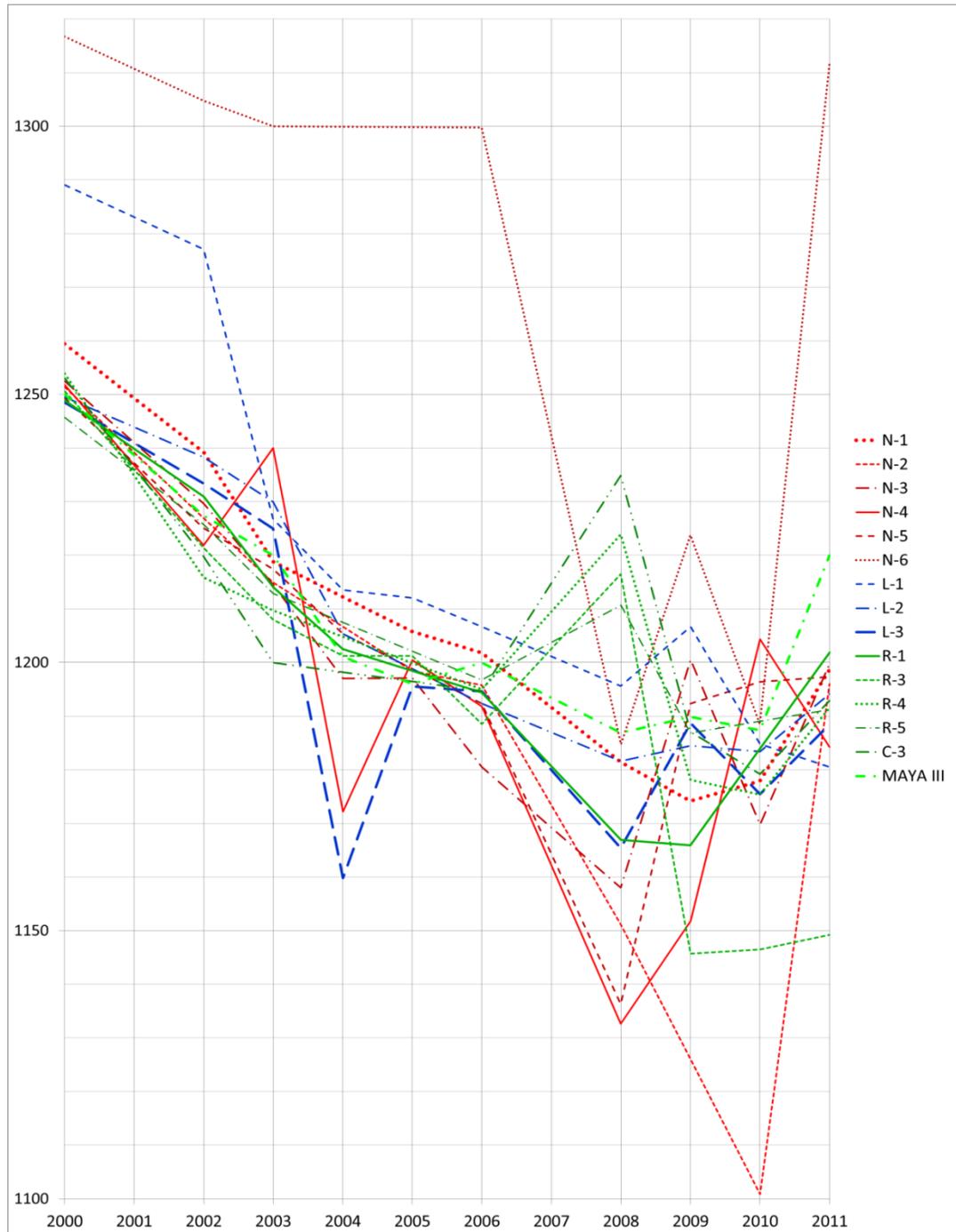
De las gráficas de comportamiento de nivel se puede observar que existe un continuo descenso de niveles del 2000 al 2008. A partir del 2008 los pozos que han presentado descenso de niveles son los R1, R5, L3 y N4.

Tabla XVII. **Resumen de comportamiento de niveles estáticos**

POZO	SECTOR	AÑO 2000 (AÑO DE PERFORACIÓN)		AÑO 2011		DESCENSO PROMEDIO
		ELEVACIÓN NIVEL ESTÁTICO	PRODUCCION	ELEVACIÓN NIVEL ESTÁTICO	PRODUCCIÓN	
		msnm	Lt/seg	msnm	Lt/seg	Mts/año
N-1	Norte	1 259,4	50	1 198,7	48	5,52
N-2	Norte	1 251,41	28	1 196,01	0	5,04
N-3	Norte	1 252,43	60	1 199,73	30	4,79
N-4	Norte	1 251,79	20	1 184,29	10	6,14
N-5	Norte	1 249,37	35	1 197,37	25	4,73
N-6	Norte	1 316,76	10	1 312,06	1	0,43
L-1	Lavarreda	1 289,05	40	1 180,55	17	9,86
L-2	Lavarreda	1 249,53	35	1 194,16	24	5,03
L-3	Lavarreda	1 248,49	40	1 188,49	14	5,45
R-3	Rodeo	1 250,62	10	1 149,22	8	9,22
R-4	Rodeo	1 253,89	38	1 191,59	25	5,66
R-5	Rodeo	1 245,73	40	1 191,23	20	4,95
R-1	Rodeo	1 248,92	40	1 201,92	0	4,27
C-3	Rodeo	1 252,98	50	1 192,88	42	5,46
Maya III	Rodeo	1 250	50	1 220	23	2,73

Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Gráfica de comportamiento de niveles estáticos



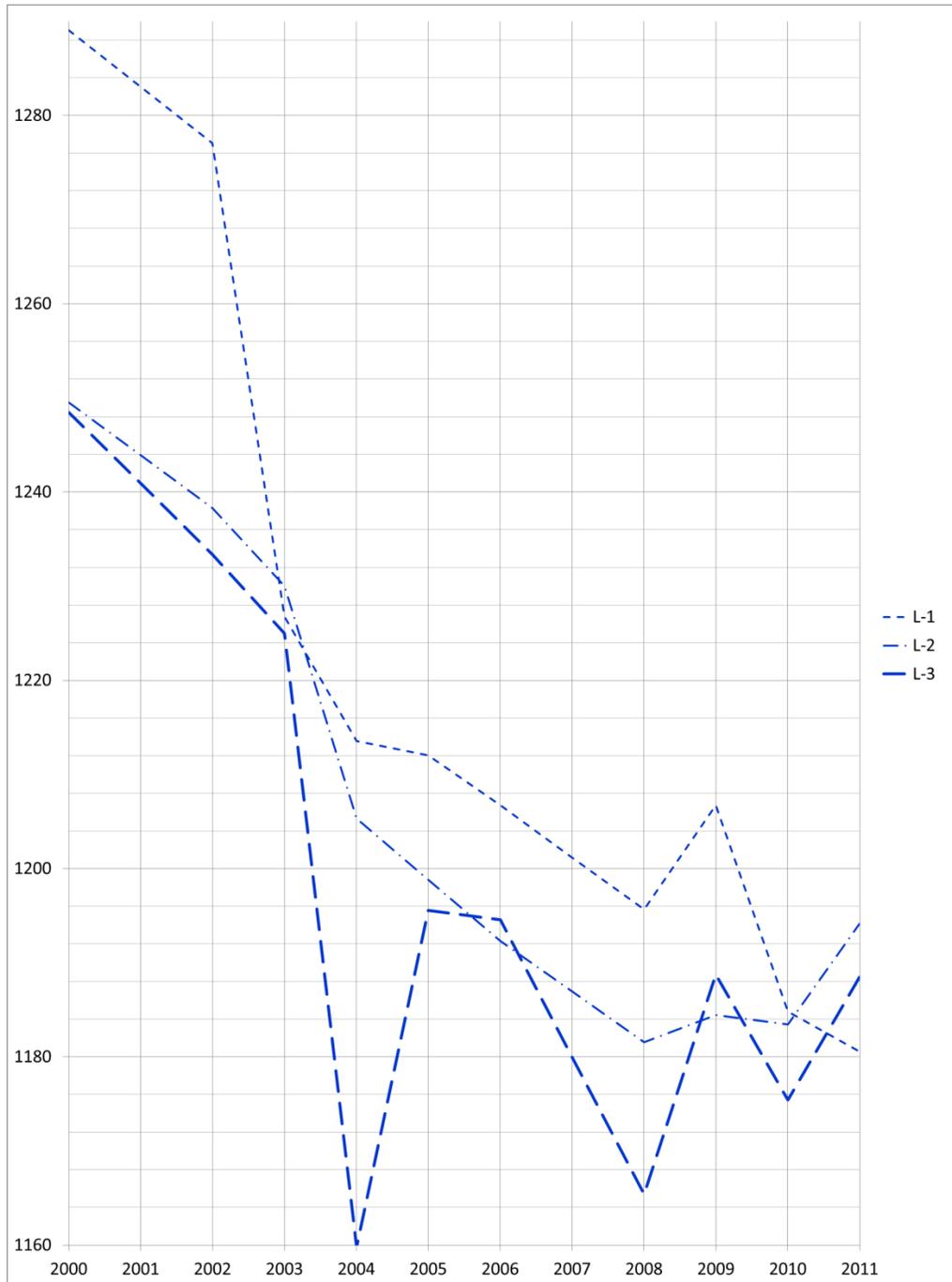
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Comportamiento de niveles estáticos sistema norte



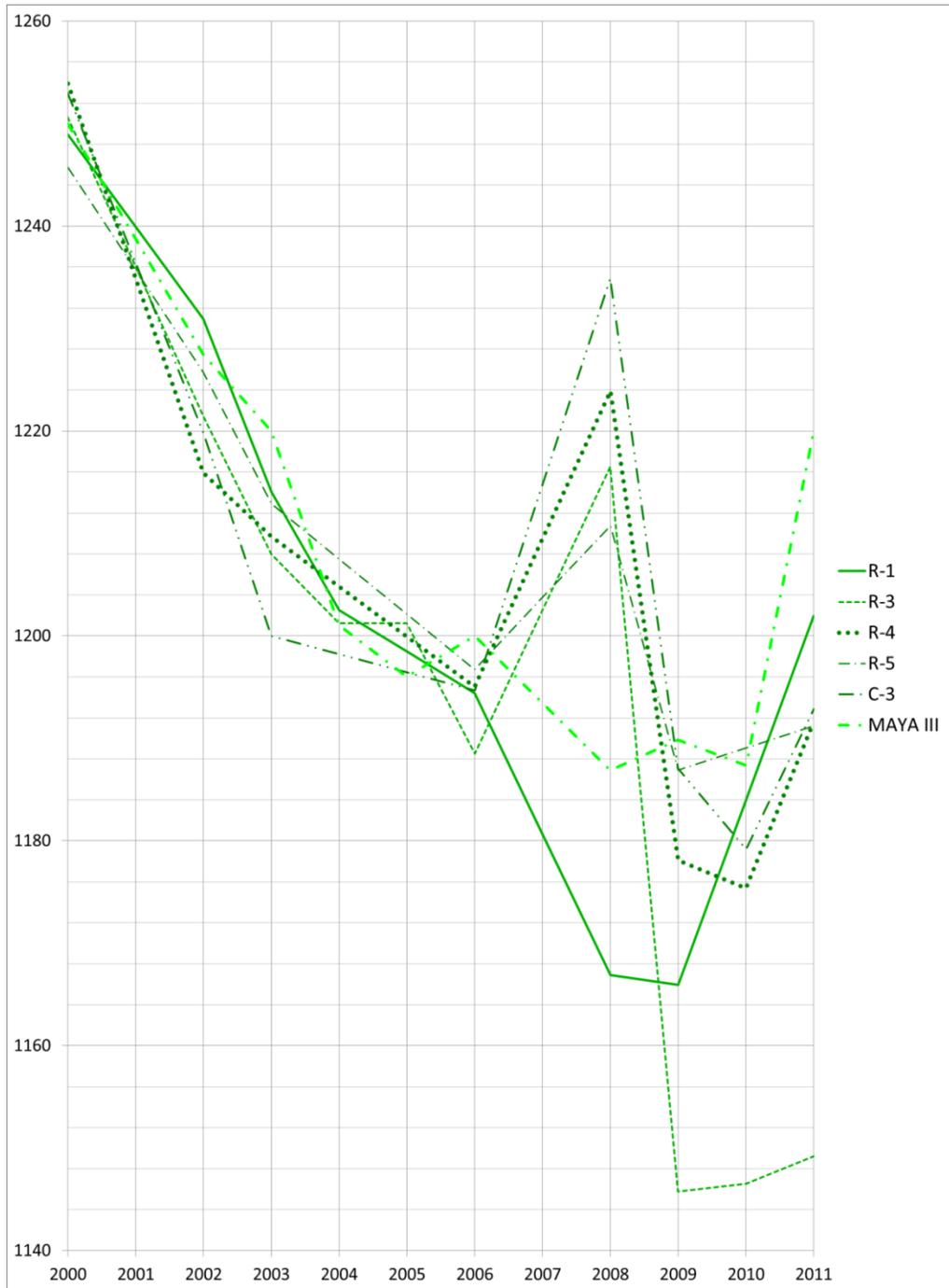
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Gráfica de comportamiento de niveles sistema Lavarreda



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Gráfica de comportamiento de niveles sistema El Rodeo



Fuente: elaboración propia.

Como parte del análisis de la información se calculó el nivel promedio por año por sector, mostrado en la tabla XVIII. También se calculó la producción conjunta por sector, mostrada en la tabla XIX. En estas tablas se puede observar el comportamiento de los niveles y la producción por cada sector en el período de estudio. De este análisis se obtuvo la siguiente tabla y gráficas:

Tabla XVIII. **Niveles promedio por sector**

AÑO	NIVEL PROMEDIO NORTE	NIVEL PROMEDIO LAVARREDA	NIVEL PROMEDIO EL RODEO	NIVEL PROMEDIO GENERAL
2000	1 263,53	1 262,36	1 250,36	1 258,60
2001	1 252,38	1 255,97	1 236,93	1 247,51
2002	1 241,24	1 249,59	1 223,51	1 236,42
2003	1 234,28	1 227,25	1 210,77	1 223,72
2004	1 215,57	1 192,90	1 202,55	1 206,17
2005	1 216,75	1 202,15	1 199,03	1 207,51
2006	1 210,34	1 197,88	1 194,90	1 201,79
2007	1 183,86	1 189,38	1 200,77	1 191,61
2008	1 157,39	1 180,87	1 206,64	1 181,42
2009	1 178,11	1 193,30	1 175,60	1 179,45
2010	1 172,98	1 181,22	1 176,90	1 175,40
2011	1 214,69	1 187,73	1 191,14	1 198,44

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Resumen del sector norte

La figura 51, presenta el nivel promedio por año de los pozos del sistema Norte. De esta gráfica se puede advertir que el nivel freático ha presentado un descenso continuo en un período de 8 años, bajando el nivel 106,14 metros y a partir del 2008 ha existido una recuperación de niveles también constante,

logrando elevar el nivel 57,31 metros en 3 años. En la figura 52 se muestra la producción conjunta de los pozos del sistema norte. La producción muestra una considerable reducción en el primer año de operación y posteriormente presenta un comportamiento irregular con una tendencia a la disminución. En total, la producción se redujo un 56 por ciento con respecto a la producción al inicio de la fase de operación.

Tabla XIX. Producción por pozo y por sector

POZO	PRODUCCIÓN CONJUNTA POR AÑO (Lt/seg)											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
N-1	50	42	50	41	48	44	39	38	38,45	40,54	45	48
N-2	28	19	21	19	17	12	5	8	9,76	9,75	12	0
N-3	60	42	41	39	25	27	25	21	23,78	24,97	27,49	30
N-4	20	29	12	15	15	11	19	17	17,58	14,72	12,36	10
N-5	35	6	21	31	30	31	29	29	31,51	33,23	29,12	25
N-6	10	3	3	2	3	2	2	2	0,97	1,25	1,13	1
	203	141	148	147	138	127	119	115	122	124	127	114
L-1	40	20	20	21	17	11	10	4	14,87	7,27	12,14	17
L-2	35	21	20	22	22	26	25	24	23,32	22,51	23,25	24
L-3	40	22	22	17	21	18	18	11	12,74	7,47	10,73	14
	115	63	62	60	60	55	53	39	50,93	37,25	46,12	55
R-3	10	0	0	0	6	7	6	7	6,41	6,99	7,50	8
R-4	38	0	0	0	25	24	19	17	15,14	24,92	24,96	25
R-5	40	0	0	0	28	27	26	26	26,46	14,21	17,11	20
R-1	40	25	27	18	19	18	17	17	15,22	4,75	0	0
C-3	50	26	26	26	28	27	27	32	34,75	33,53	37,77	42
Maya III	50	47	47	40	29	22	23	22	19,08	21,94	22,47	23
	228	98	100	84	135	125	118	121	117,05	106,34	109,80	118

Fuente: elaboración propia.

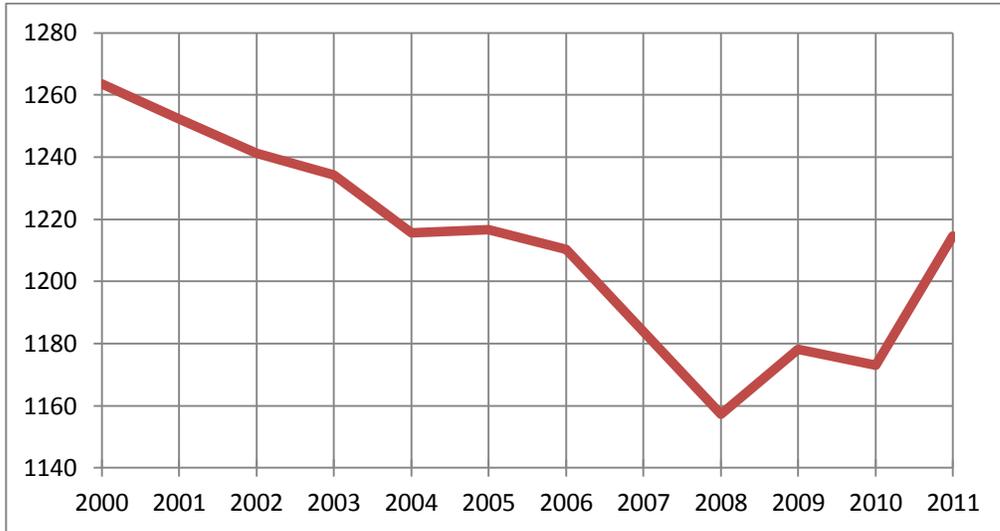
3.5.2. Resumen del sector Lavarreda

En la figura 53 se observa el nivel promedio del sistema Lavarreda, el cual descendió continuamente desde el inicio de la operación hasta el 2004, con un descenso de 69,46 metros en 4 años. Posteriormente muestra un comportamiento irregular en los niveles, pero solo presenta un descenso de 5,16 metros entre 2004 y 2011. En la figura 54 se muestra la producción conjunta del sistema, la cual se ha reducido constantemente hasta el 2007 y posteriormente presenta un comportamiento irregular, con una leve tendencia hacia al descenso. Específicamente se ha tenido una reducción de la producción en un 48 por ciento con respecto a la producción inicial.

3.5.3. Resumen del sector El Rodeo

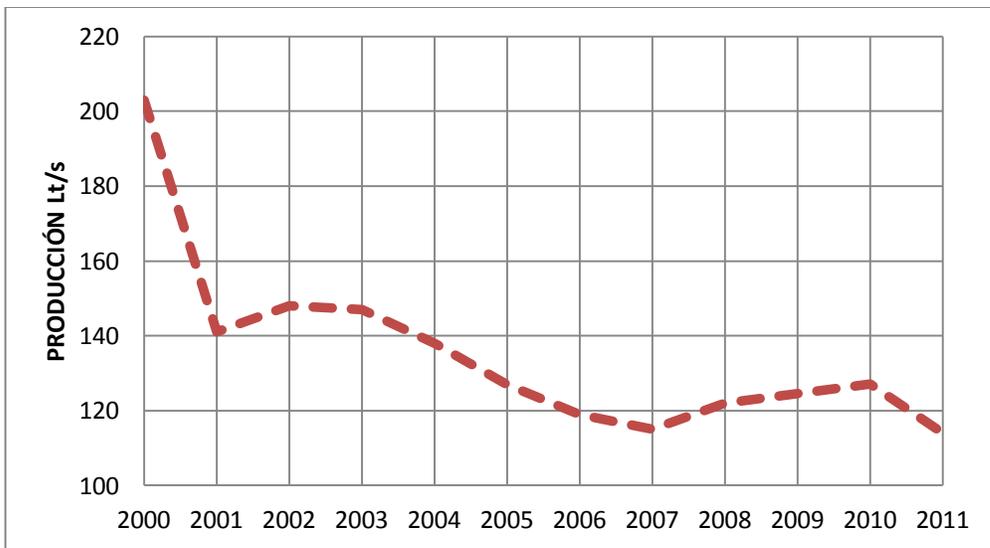
En las figuras 55 y 56 se observa el nivel promedio y la producción conjunta del sistema El Rodeo, respectivamente. En la figura 55 se observa un descenso promedio de 56,81 metros en 6 años, para luego tener un comportamiento de niveles variable. La producción presenta una disminución constante desde el inicio de operación hasta el 2006, para posteriormente presentar una producción irregular, con una tendencia a la reducción. La producción de este sector ha tenido una reducción de un 52 por ciento con respecto a la producción inicial.

Figura 51. **Gráfica de nivel promedio del sistema norte**



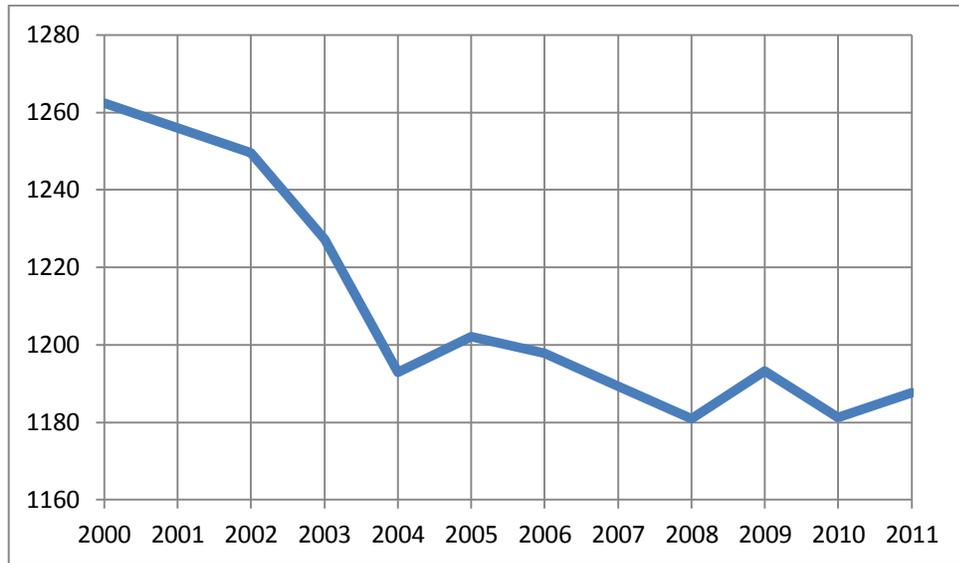
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Gráfica de producción conjunta en el sistema norte**



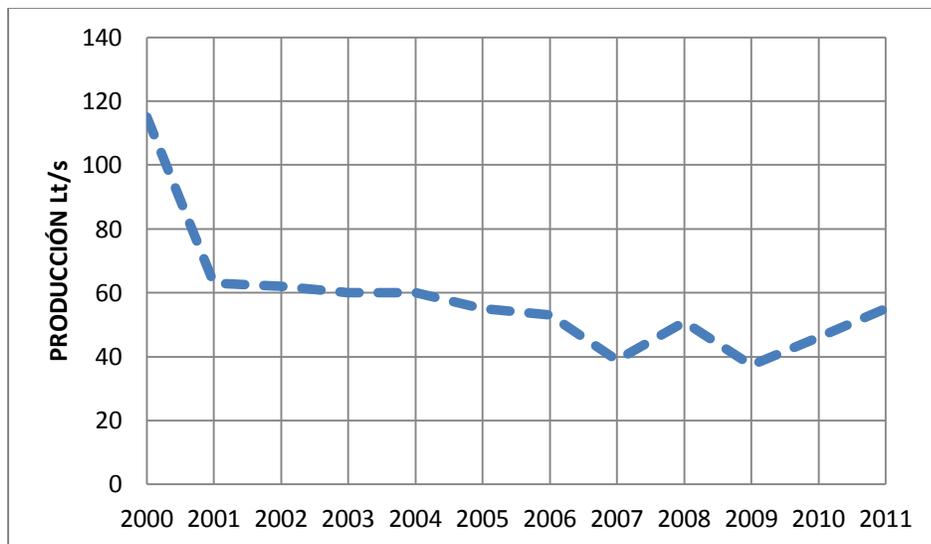
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Gráfica de nivel promedio del sistema Lavarreda**



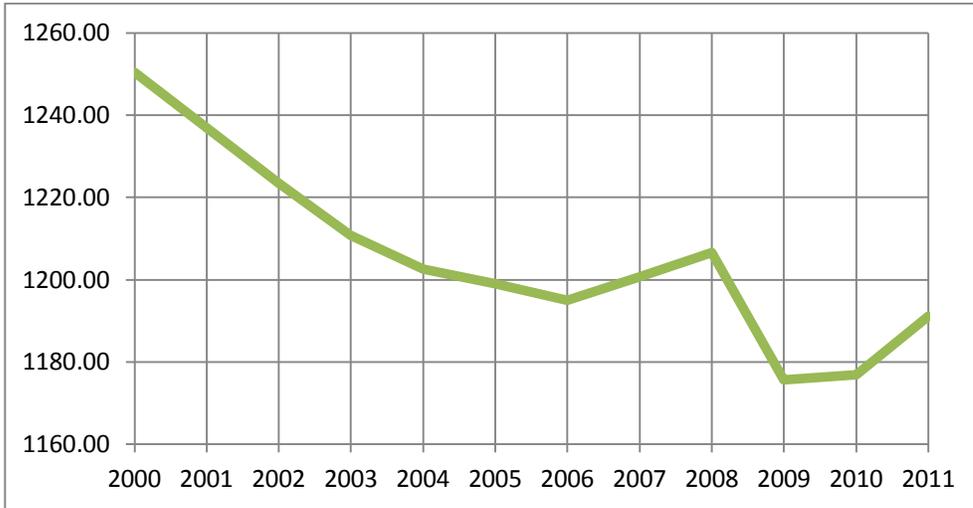
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Gráfica de producción conjunta en el sistema Lavarreda**



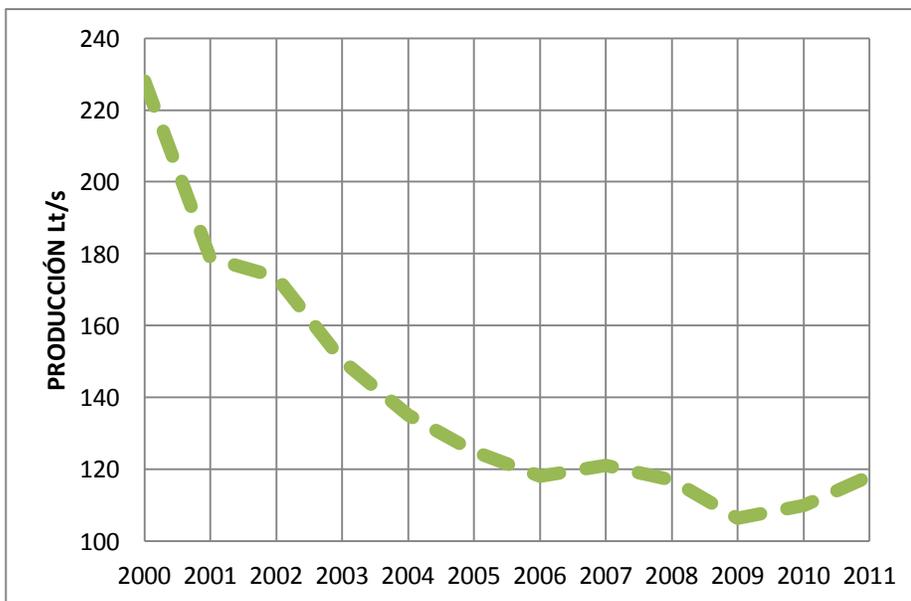
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Gráfica de nivel promedio del sistema El Rodeo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Gráfica de producción conjunta en el sistema El Rodeo**



Fuente: elaboración propia.

3.6. Discusión de resultados

Del análisis de la información, las gráficas y tablas, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Los niveles de referencia del nivel estático en los pozos del sistema Emergencia 1 han presentado tendencia al descenso desde el inicio de funcionamiento del sistema en el 2000 y durante los 11 años del período de estudio, es decir, hasta el 2011.

El sistema norte está compuesto de 6 pozos. El descenso promedio anual en el sistema norte es de 4,44 metros por año. La producción conjunta del sector actualmente es de 126 litros por segundo, la cual se ha reducido en un 46,6 por ciento en el período 2000-2011. El pozo que presentó menor descenso es el N-6, el cual tiene una profundidad de 451 metros, una producción actual de 1 litro por segundo y el nivel estático descendió 4,7 metros durante el período de estudio. El pozo que ha presentado mayor descenso es el N-4, con una profundidad de 351 metros, una producción actual de 10 litros por segundo y el cual ha presentado un descenso en el nivel estático de 67,5 metros.

El sistema Lavarreda está compuesto de 3 pozos. El descenso promedio anual en el sistema Lavarreda es de 6,78 metros al año. La producción conjunta actualmente es de 55 litros por segundo, la cual se redujo en un 51,3 por ciento en el periodo 2000-2011. El pozo que presentó menor descenso es el L-2, el cual tiene una profundidad de 399 metros, una producción actual de 24 litros por segundo y tiene un descenso de nivel estático de 55,37 metros. El pozo que ha presentado mayor descenso es el L-1, con una profundidad de 421 metros, una producción actual de 17 litros por segundo y que tiene un descenso de nivel estático de 108,50 metros.

El sistema El Rodeo está compuesto de 6 pozos. El descenso promedio anual en el sistema El Rodeo es de 5,38 metros por año. La producción conjunta actualmente es de 122,75 litros por segundo, con una reducción del 43,70 por ciento en el período 2000-2011. El pozo que ha presentado menor descenso es el Maya III, el cual tiene una profundidad de 427 metros, una producción actual de 23 litros por segundo y tiene un descenso de nivel estático de 30 metros. El pozo que presenta mayor descenso de nivel es el R-3, el cual tiene una profundidad de 411 metros, una producción actual de 8 litros por segundo y tiene un descenso de nivel estático de 101,40 metros.

El mayor descenso en la producción de los pozos se produjo después del primer año de funcionamiento del sistema, del 2000 a 2001. Esto se debió al descenso de niveles estáticos presentado en los pozos de los 3 sistemas.

Los niveles estáticos se mantuvieron en constante descenso hasta el 2007. A partir del 2008, solo 4 pozos (R-5, R-1, N-4 y N-5) presentaron descensos considerables y los otros 11 pozos mostraron recuperación de niveles. La recuperación de niveles se ha dado principalmente por la reducción en la producción de los pozos. También contribuye la mejora en el uso de suelos en vivienda, regularizado por la Municipalidad de Guatemala.

CONCLUSIONES

1. El descenso promedio del nivel estático de agua subterránea en los sectores del sistema de pozos Emergencia 1 son los siguientes: sector Norte: 4,44 metros por año (14,55 pies por año), sector Lavarreda: 6,78 metros por año (22,23 pies por año), sector Rodeo: 5,38 metros por año (17,64 pies por año). El sistema Emergencia 1 presenta un descenso promedio del nivel estático del orden de 5,29 metros por año (17,35 pies por año).
2. Los niveles de agua en los pozos del sistema presentaron constantes descensos hasta el 2008. A partir de este año los niveles de agua en un 73 por ciento de los pozos presenta recuperación de niveles. Esto es debido a la reducción considerable de la producción, la cual en el sistema se redujo en un 46,40 por ciento desde el inicio de operación en el 2000 hasta el 2011. El mayor decremento en la producción se produjo después del primer año de funcionamiento, donde EMPAGUA detectó este comportamiento y rediseño algunos equipos de bombeo, para extraer un caudal menor.
3. El método más exacto y adecuado para la medición de niveles de agua en pozos es el de medición automática ya que tiene mayor precisión y ofrece un registro continuo de los niveles. El método más práctico para medición de niveles es el de línea de presión.

4. Es indispensable dentro de la operación y mantenimiento de los pozos mecánicos, la constante medición y control de los niveles estático, dinámico y del aforo del caudal de explotación, ya que ellos indican si existen comportamientos irregulares en los niveles que puedan poner en riesgo el equipo de bombeo y el ciclo de funcionamiento del pozo.

5. El decremento en los niveles en estas zonas es influenciado por la disminución de las zonas de recarga y el aprovechamiento del agua subterránea.

RECOMENDACIONES

1. Propiciar la realización de estudios hidrogeológicos para determinar las áreas de recargas mínima y los volúmenes de extracción prudentes para alcanzar la sostenibilidad de los acuíferos.
2. La Municipalidad de Guatemala debe propiciar acercamientos con otras municipalidades para definir normativas y reglamentos orientados a la protección de las áreas de recarga de los mantos acuíferos, los cuales deben ser caracterizados para su conocimiento, ya que esta fuente provee del 61 por ciento de agua potable a la ciudad capital.
3. Realizar estudios hidrológicos e hidrogeológicos actualizados para determinar los volúmenes de agua aprovechables de los mantos acuíferos, para garantizar la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento con fuentes subterráneas.
4. Tomar acciones de concientización en la población para el uso racional del agua y su conservación.
5. Realizar constantes monitoreos de los niveles de agua en los pozos del sistema Emergencia 1 para controlar y prever descensos de niveles que afecten los sistemas de bombeo y el abastecimiento de agua a la ciudad.

6. Definir una red de pozos de monitoreo en las zonas evaluadas (zona 6 y zona 18) para realizar mediciones mensuales de los niveles freáticos (referencia nivel estático del pozo), procesando dicha información y generando informes de la evolución de los niveles del agua subterránea a nivel mensual.

7. Implementar mediciones automáticas en piezómetros asignados, contando con uno mínimo en cada registro, a través de un sistema de medición continuo de niveles, utilizando el respectivo software para su correcta interpretación. Con ello se logrará un registro continuo de los niveles de agua subterránea y podrá compararse con las precipitaciones de las zonas de recarga locales, dando paso a las evaluaciones hidrogeológicas que lleven a establecer perímetros de protección de los acuíferos utilizados para el abastecimiento de agua de la ciudad de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Estudio hidrogeológico de la cuenca del valle de Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, 1978. 75 p.
2. Empresa Municipal de Agua. *Estudio hidrogeológico en el valle de la ciudad de Guatemala; Proyecto Emergencia I*. Guatemala: EMPAGUA, 1995. 90 p.
3. Solinst Canadá. *Instrumentación para monitoreo de aguas subterráneas y de superficie*. Ontario: Sonlist, 2012. 12 p.
4. LINSLEY, Kohler, Paulus. *Hidrología para Ingenieros*. 2ª ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 1988. 386 p. ISBN 0-07-037967-X
5. RAMIREZ MEJÍA, Lilian Leonor. *Estudio sobre la calidad de agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 125 p.
6. Tecnología de medición del agua sostenible, Vega Alemania, www.vega.com. Consulta 15 de diciembre de 2013.

