



**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos**

**ERIS**

**Maestría en Recursos Hidráulicos**

**Opción Gestión Integrada de Recursos Hídricos -GIRH-**

**EVALUACIÓN DEL DESCENSO DEL NIVEL FREÁTICO  
EN LA PARTE NORTE DEL ACUÍFERO METROPOLITANO EN  
EL VALLE DE GUATEMALA**

**Estudio Especial presentado por:**

**Arquitecta Jacqueline Imelda Morales**

**Asesor: M.Sc. Ing. Elfego Odvin Orozco**

**Guatemala, noviembre de 2,012.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL DESCENSO DEL NIVEL FREÁTICO  
EN LA PARTE NORTE DEL ACUÍFERO METROPOLITANO EN EL VALLE  
DE GUATEMALA**

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS  
OPCIÓN GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

POR

**ARQUITECTA, JACQUELINE IMELDA MORALES SAMAYOA**

ASESORADO POR

M.Sc. Ing. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**MAESTRÍA (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN RECURSOS HIDRÁULICOS**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Perez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joran Matias Gil Laroj
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes

**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:**

**EVALUACIÓN DEL DESCENSO DEL NIVEL FREÁTICO  
EN LA PARTE NORTE DEL ACUÍFERO METROPOLITANO EN EL  
VALLE DE GUATEMALA**

**Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS.**

**Arq. Jacqueline Imelda Morales Samayoa**

[mor.jacqueline@gmail.com](mailto:mor.jacqueline@gmail.com)

Carné 100012497

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**A Dios Todopoderoso**

Que nos da la vida.

**A nuestra madre del cielo**

Hija predilecta del Altísimo.

**Mi tía**

M.Sc. Inga. en Recursos Hidráulicos  
Marta Lidia Samayoa Gutiérrez de  
Hernández, primera mujer en Recursos  
Hidráulicos en Guatemala. “Quien  
antepone sus intereses por el bienestar,  
del prójimo”.

**Mi tío**

Fito, Adolfo Hernández Solís, en  
memoria a su creencia del teatro de la  
vida... ¡se abre y se cierra el telón...!  
Cada escena es única y debe vivirse  
intensamente.

**Mi madre**

Amparito Samayoa Gutierrez de  
Morales, por su apoyo, dedicación y  
esfuerzo.

**Mi hermano**

Wenses Rafael, por dar luz a mi vida.

**Mis sobrinas**

Lourdes Abigail y Fátima Sofía, por  
distraerme y darme la alegría de su  
compañía.

**Mis amigos  
de promoción**

Héctor Bol, Sergio Lickes y Alexander  
Esquivel, por los gratos momentos que  
compartimos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por las oportunidades que me ha brindado en el camino académico.

**Empresa Municipal de Agua EMPAGUA**

Por el apoyo y facilidad de información en el tema de agua subterránea, por los recursos brindados, transporte, equipo para monitoreo de niveles freáticos, y material informativo, beneficiando a esta investigación.

**Profesores de ERIS**

En especial a: M.Sc. Ing. Elfego Orozco por su entusiasmo en la culminación de esta investigación. M.Sc. Ing. Pedro Saravia, por su colaboración en acceder a las inquietudes en pro de la realización de las actividades académicas. M.Sc. Licda. Alba Tabarini Molina por su especial carisma en la enseñanza.

M.Sc. Ing. Joran Gil, M.Sc. Ing. Willy Garcia, M.Sc. Ing. Zenon Much, MSc, Ing. Juan José Sandoval, M.Sc. Ing. Teofilo Alvarez, M.Sc. Ing. Felix Aguilar, Dra. Malvina de León y M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes.

**Ing. Víctor Aragón**

Quien me brindo su confianza y acompañamiento en el monitoreo de los pozos del proyecto Emergencia I de EMPAGUA.

**Sr. Jorge Hernández**

Por su entrega en el trabajo que realiza respecto a los pozos de EMPAGUA y la ayuda brindada para esta investigación.

**M.Sc. Inga. Marta Lidia Samayoa  
M.Sc. Ing. Fulgencio Garavito**

Por su cariño, estima, ejemplo y apoyo.  
Por su amistad y la orientación técnica.

**Personal de ERIS**

A Dorita, Frida, Janeth y a Don José Morejón, por su cordialidad.

**Amigos de promoción**

Héctor Bol, Sergio Lickes y Alexander Esquivel.

**A mis compañeros (as)  
y amigos (as)**

Del camino de la vida, por su cariño y estima, muy agradecida.

**INDICE**

<b>GLOSARIO DE TERMINOS</b>	<b>09</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>I. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>12</b>
1.1 Antecedentes	
1.2 Planteamiento del problema	
1.3 Hipótesis	
1.4 Objetivos	
1.4.1 Objetivo general	
1.4.2 Objetivos específicos	
1.5 Justificación del problema	
1.6 Alcance espacial y temporal del estudio	
<b>II. METODOLOGÍA</b>	<b>17</b>
2.1 Proceso de investigación	
<b>III. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL</b>	<b>18</b>
3.1 Importancia del agua subterránea	
3.2 Uso sostenible del agua	
3.3 Influencia del uso de la tierra en el agua subterránea	
3.4 Amenazas de la crisis del agua subterránea	
3.5 Sobreexplotación del agua subterránea	
3.6 Criterios de los funcionarios de Empagua sobre el agotamiento de acuíferos	
<b>IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>21</b>
4.1 <b>Caracterización del área de estudio</b>	
4.1.1 Descripción geográfica	
4.1.2 Rasgos geológicos y morfológicos	
4.1.3 Rasgos Hidrográficos	
4.1.4 Rasgos Climatológicos e Hidrológicos	
4.1.5 Rasgos Hidrogeológicos	
4.2 <b>Caracterización de sub-cuencas</b>	<b>29</b>
4.2.1 Sub-cuenca del río Los Ocotes	
4.2.2 Sub-cuenca del río Los Vados	
4.2.3 Subcuenca del río Las Vacas	
4.3 <b>Evaluación del balance hídrico</b>	<b>31</b>
4.3.1 Esquema conceptual del balance hídrico de las sub-cuencas	
4.3.2 Ecuación básica del balance hídrico	
4.3.3 Resumen del Cálculo de Infiltración por sub-cuenca	
4.3.4 Resumen de balances hídricos para las sub-cuencas	
4.4 <b>Información disponible del sistema de pozos</b>	<b>32</b>
4.4.1 Caracterización de los sistemas de abastecimiento por agua subterránea, mediante pozos	
4.4.2 Sector Vista Hermosa (H)	
4.4.3 Sector Canalitos (C)	
4.4.4 Sector Lavarreda - Rodeo (zona 18)	
4.4.5 Sector Norte (N)	

<b>V. ANÁLISIS DEL DESCENSO Y EXTRACCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO DE CADA SECTOR EVALUADO</b>	<b>40</b>
5.1 Sector Lavarreda-Rodeo	
5.2 Sector Vista Hermosa	
5.3 Sector Canalitos	
5.4 Sector Norte	
<b>VI. RESULTADOS DE LOS POZOS CRÍTICOS DE CADA SECTOR EVALUADO</b>	<b>45</b>
6.1 Sector Lavarreda-Rodeo R5	
6.2 Sector Vista Hermosa H3	
6.3 Sector Canalitos C3	
6.4 Sector Norte N4	
<b>VII. RESULTADOS DEL ESTUDIO</b>	<b>49</b>
<b>VIII. CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES</b>	<b>52</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>53</b>
<b>XI. ANEXOS</b>	<b>54</b>
11.1 Nivel dinámico del agua subterránea de los cuatro sectores evaluados	
11.2 Nivel estático del agua subterránea de los cuatro sectores evaluados	
11.3 Producción de agua acumulada de los cuatro sectores evaluados	
11.4 Perfiles de pozos	

## MATERIAL GRÁFICO

### Figuras

- Fig.1\_ República de Guatemala, Departamento de Guatemala
- Fig. 2\_ Geología de los sectores estudiados
- Fig.3\_ Cuencas y vertientes de la República de Guatemala
- Fig. 4\_ Localización cuenca río Motagua, vertiente Atlántico.
- Fig. 5\_ Localización de la cuenca río Motagua, inserto Ciudad de Guatemala, cuenca norte, 235 km<sup>2</sup>.
- Fig. 6\_ Localización de la cuenca María Linda, inserto Ciudad de Guatemala, cuenca sur, 571km<sup>2</sup>.
- Fig. 7\_ Isoyetas de precipitación promedio en la zona de estudio, período de registro 1970 -1989.
- Fig. 8\_ Cobertura forestal Ciudad de Guatemala y municipios.
- Fig. 9\_ Balance hídrico de las sub-cuencas
- Fig. 10\_ Esquema conceptual del balance hidrológico de las sub-cuencas
- Fig. 11\_ Identificación de sub-cuencas en estudio, cuenca río Motagua, vertiente del Mar Caribe
- Fig. 12\_ Localización de las zonas de estudio
- Fig. 13\_ Sector Vista Hermosa
- Fig. 14\_ Sector Canalitos
- Fig. 15\_ Sector Lavarreda-Rodeo
- Fig. 16\_ Sector Norte
- Fig. 17\_ Histograma pozos del sector Lavarreda-Rodeo
- Fig. 18\_ Histograma pozos del sector Vista Hermosa
- Fig. 19\_ Histograma pozos del sector Canalitos
- Fig. 20\_ Histograma pozos del sector Norte
- Fig. 21\_ Comportamiento de variación de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído, pozo crítico R-5
- Fig. 22\_ Comportamiento de variación de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído, pozo crítico H-3
- Fig. 23\_ Comportamiento de variación de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído, pozo crítico C-3
- Fig. 24\_ Comportamiento de variación de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído, pozo crítico N-4

**Cuadros**

- Cuadro 1\_ Caracterización de las sub-cuencas en estudio
- Cuadro 2\_ Recopilación de cálculos y resultados de infiltración estimada para cada Sub-cuenca
- Cuadro 3\_ Resumen del balance hídrico
- Cuadro 4\_ Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal extraído de los pozos sector Lavarreda-Rodeo
- Cuadro 5\_ Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal extraído de los pozos sector Vista Hermosa
- Cuadro 6\_ Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal extraído de los pozos sector Canalitos
- Cuadro 7\_ Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal extraído de los pozos sector Norte
- Cuadro 8\_ Resumen caracterización de variables pozo R-5
- Cuadro 9\_ Resumen caracterización de variables pozo H-3
- Cuadro 10\_ Resumen caracterización de variables pozo C-3
- Cuadro 11\_ Resumen caracterización de variables pozo N-4

**ANEXOS**

- Cuadro A\_ Niveles dinámicos de los pozos sector Lavarreda-Rodeo.
- Cuadro B\_ Niveles dinámicos de los pozos sector Vista Hermosa.
- Cuadro C\_ Niveles dinámicos de los pozos sector Canalitos.
- Cuadro D\_ Niveles dinámicos de los pozos sector Norte.
- Cuadro E\_ Niveles estáticos de los pozos sector Lavarreda-Rodeo.
- Cuadro F\_ Niveles estáticos de los pozos sector Vista Hermosa.
- Cuadro G\_ Niveles estáticos de los pozos sector Canalitos.
- Cuadro H\_ Niveles estáticos de los pozos sector Norte.
- Cuadro I\_ Producción del sector Lavarreda-Rodeo.
- Cuadro J\_ Producción del sector Vista Hermosa.
- Cuadro K\_ Producción del sector Canalitos.
- Cuadro L\_ Producción del sector Norte.
- Fig. A\_ Perfil de pozos sub-cuenca río Las Vacas
- Fig. B\_ Perfil de pozos sub-cuenca río Los Ocotes
- Fig. C\_ Perfil de pozos sub-cuenca río Canalitos
- Fig. D\_ Perfil de pozos sub-cuenca río Las Vacas, Canalitos, Los Ocotes
- Fig. E\_ Perfil de pozos sub-cuenca río Canalitos
- Fig. F\_ Perfil de pozos sub-cuenca río Canalitos

**SIGLAS**

<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica de las Naciones
<b>DMS</b>	División de Saneamiento y Medio Ambiente
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura
<b>GIRH</b>	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>JICA</b>	Japan Internacional Cooperation Agency
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura
<b>MSPAS</b>	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
<b>MARISCAL</b>	Compañía privada de agua Mariscal
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<b>MINECO</b>	Ministerio de economía
<b>VRS</b>	Variación de las reservas subterráneas
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la Salud (PAHO por sus siglas en ingles)
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>SIFGUA</b>	Sector Forestal de Guatemala
<b>SR</b>	Secretaría de Recursos Hídricos
<b>SOGREAH</b>	Consulting group specializing in development and the environment. Sogreah consultants, France.
<b>TAHAL</b>	TAHAL Group B.V. es una empresa internacional de ingeniería
<b>UE</b>	Union Europea
<b>USAC</b>	Universidad de San Carlos de Guatemala
<b>UNEPAR</b>	Unidad ejecutora para Programas de Acueductos Rurales
<b>WGS</b>	Sistema de coordenadas geográficas

## GLOSARIO TÉRMINOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

- **Acuífero:** Formación rocosa delimitada por rocas impermeables en cuyo interior puede almacenarse y fluir el agua subterránea, en función de su porosidad y permeabilidad. Se recargan por infiltración y percolación y descargan a través de los ríos y manantiales o en el mar. Estrato de roca permeable que puede almacenar agua en su interior y permitir el paso de esta.
- **Agua Subterránea:** Es el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico conocido como subsuelo comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático, que se encuentra en la zona de saturación y que alimenta pozos, manantiales y escorrentía subterránea
- **Agua Superficial:** Agua que fluye o se almacena sobre la superficie del terreno. Incluye los ríos, lagos, lagunas y embalses. Es aquella constituida por corrientes superficiales sean naturales o artificiales, (p.e. agua de los ríos, lagos o pantanos).
- **Aprovechamiento racional:** La utilización de los elementos naturales, en forma que resulte eficiente, socialmente útil y procure su preservación y la del ambiente.
- **Atmósfera:** Capa de gases que rodea un planeta.
- **Balance hídrico:** Es la relación entre los valores de precipitación y evapotranspiración en un área determinada. Puede arrojar un déficit, superávit o equilibrio de humedad.
- **Balance hidrológico:** Es la entrada, salida y contenido de agua en una unidad hidrológica p.e.: una cuenca, un lago, un embalse, un sistema de riego o una zona determinada del suelo.
- **Capa freática:** Superficie superior de la zona de saturación en las rocas permeables, que puede variar de acuerdo con la estación climática del año.
- **Ciclo hidrológico:** Circulación del agua desde el mar a la tierra y desde ésta de nuevo al mar. El ciclo hidrológico suele presentarse esquemáticamente en forma gráfica.
- **Cuenca:** Superficie ocupada por un mismo sistema de desagüe.
- **Cuenca hidrográfica:** Área circunscrita a una divisoria de aguas que drenan hacia un cauce principal.
- **Deforestación:** Tala o quema de un bosque; eliminación de una masa boscosa.
- **Degradación del ambiente:** Alteración del medio ambiente que impide su utilización óptima y sostenible a largo plazo.
- **Demanda de recursos:** Es el requerimiento de determinados elementos para resolver una necesidad o llevar a cabo una actividad.
- **Descarga:** Volumen de agua por unidad de tiempo, un canal o una corriente que vierte a un lago, depósito, corriente u océano.
- **Erosión:** El desplazamiento gradual, perdido o desaparición de partes de un sistema bajo la influencia de factores externos; erosión hídrica y eólica del suelo.
- **Escala cartográfica:** Es aquella que sirve de medida para dibujar proporcionalmente en un mapa o plano las distancias y dimensiones de un objeto determinado.
- **Escorrentía:** Es la acción del agua cuando escurre sobre la superficie del suelo. Es la parte de la precipitación que ni se filtra ni se evapora.
- **Estación evaporimétrica:** Estación que mide regularmente la evaporación.
- **Estación limnimétrica:** Es la estación donde se efectúan medidas regulares de los niveles de agua, en ríos, lagos, reservorios, etc.
- **Estación meteorológica:** Estación que mide un conjunto de variables relacionadas con el medio ambiente; temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación, vientos, nubosidad, etc.
- **Estación pluviométrica:** Estación donde solo se mide la precipitación.
- **Estación seca:** Período del año en que particularmente disminuye la intensidad de la precipitación y es excedida por los valores de la evaporación media.
- **Estiaje:** Nivel mínimo de caudal que alcanza un río, en este caso el pozo en estudio, cuando está próximo a finalizar su potencial hídrico.

- **Estudio geomorfológico:** Análisis de los procesos geomorfológicos que afectan la estabilidad de un terreno.
- **Evaporación:** Proceso físico de transferencia molecular por el cual un líquido pasa al estado gaseoso. Emisión de vapor de agua por la superficie libre de una superficie de agua líquida, a cualquier temperatura inferior al punto de ebullición.
- **Evapotranspiración:** Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.
- **Geología:** Es aquella parte de la ciencia que estudia la estructura y el desarrollo de la tierra.
- **Geomorfología:** Rama de la geografía que estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas, ordenándolas e investigando su origen y desarrollo.
- **Humedad:** Es el contenido de agua libre de una materia. Cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera o cantidad de agua contenida en el suelo.
- **Humedad relativa del aire:** Relación entre la tensión del vapor y la tensión saturante, en igualdad de presión y temperatura; se expresa en porcentaje.
- **Impacto:** Puede ser definido como las consecuencias provenientes de ese cambio. Un impacto puede ser descrito por un cambio en un parámetro ambiental en un período específico y dentro de un área definida, resultado de una actividad particular, comparado con la situación que habría ocurrido si dicha actividad no se hubiese llevado a cabo.
- **Isoyeta:** Línea que une puntos de la superficie de la tierra de igual precipitación.
- **Meteorología:** Parte de la Geofísica que se ocupa del estado del tiempo y de los cambios ocurridos en la atmósfera.
- **Monitoreo:** La ejecución y el análisis de mediciones de rutina, con el propósito de detectar cambios en el ambiente o en el estado del objeto. No confundirlo con vigilancia. Para algunos, monitoreo también implica la intervención respecto a las mediciones observadas.
- **Nivel de agua:** Medición de la altura de una superficie líquida con respecto a un punto de referencia.
- **Permeabilidad:** Factor que mide la resistencia de los materiales al libre flujo del agua, y puede definir el régimen de aguas subterráneas, concentración de corrientes, etc.
- **Piezométrico:** Equipos instalados para medir las fluctuaciones del nivel freático de un acuífero en una localidad determinada.
- **Porosidad:** Es la relación entre el volumen total de una roca y el volumen de espacios vacíos.
- **Potencial hídrico:** hace referencia a la cantidad de agua que un cuerpo de agua puede liberar según un determinado uso, y en este caso se expresa como la diferencia entre el nivel dinámico de agua en el pozo y el nivel del fondo del mismo.
- **Precipitación:** Conjunto de partículas líquidas o sólidas, que cae de una nube o grupo de nubes y que llega a alcanzar la superficie de la tierra.
- **Recurso no renovable:** Es aquel cuyo consumo entraña necesariamente su agotamiento, como los minerales, el petróleo, el gas o el carbón mineral.
- **Recurso renovable:** Es aquel que puede reproducirse por sí mismo (o ser renovado) de forma que se mantenga a un nivel constante, sea porque se recicla con bastante rapidez (agua) o por estar vivo y poder reproducirse o ser propagado (organismos y ecosistemas). Todos los recursos naturales son limitados porque la Tierra impone límites.
- **Régimen hidrológico:** Es la fluctuación estacional del volumen de agua en una cuenca hidrográfica determinada.
- **Sustentable:** Soportar, sostener, mantener.
- **Uso sostenible:** Se entiende por uso sostenible cualquier actividad humana que suponga relación de un organismo, ecosistema o recurso no renovable que beneficie a una población. Estas actividades van de aquellas que afectan directamente a los organismos, ecosistemas o recursos no renovables, como (pesca, agricultura y minería) a las que no producen ningún efecto (p.e.: apreciación y depreciación). El uso sostenible es aplicable a los recursos renovables: significa su utilización a un ritmo que no supere su capacidad de renovación, pero no se puede utilizar cuando se habla de los recursos no renovables.

## INTRODUCCIÓN

Toda civilización depende de la disponibilidad de agua para el bien común; agua para consumo humano, para usos domésticos, para sistemas productivos agrícolas e industriales, para producir energía, incluso los cuerpos de agua se utilizan como medios de transporte, para comunicación y para actividades de esparcimiento. El crecimiento poblacional demanda trabajo, generándose urbanizaciones e industrias las cuales generan contaminación, más la falta de conocimiento hace que se produzcan malas prácticas políticas, sociales, ambientales y el uso del suelo se ve modificado, limitando las áreas de escurrimiento y ocasionando la reducción de recarga de los mantos freáticos.

Este es el caso del departamento de Guatemala quien se encuentra localizado en el centro geográfico del país, cuenta con un promedio de 3,103,685 millones de habitantes (proyección año 2010)<sup>1</sup>, en un área de 2,202 km<sup>2</sup> con una densidad de 1,410 habitantes por km<sup>2</sup>, para quienes el recurso hídrico, es vital para el desarrollo de sus actividades. El agua subterránea cubre aproximadamente el 64% del suministro actual de agua, siendo para el uso de la Región I Metropolitana<sup>2</sup> con una extensión de 264k m<sup>2</sup>. El acuífero metropolitano de Guatemala, está siendo explotado constantemente, originándose la extracción del agua de los depósitos subterráneos, por lo que es sumamente importante determinar la tasa de variación hídrica espacial y temporal para llegar a establecer diferentes restricciones para su uso, tanto técnico, económico, social y ambiental, por el deterioro y escasez constante en el que se ve afectado.

El Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo<sup>3</sup>, en dicho documento, la comunidad internacional se comprometió a reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carecen de acceso a un agua potable segura o que no pueden costearlo; así como poner fin a la explotación insostenible de los recursos hídricos formulando estrategias de gestión de esos recursos a nivel regional, nacional y local que promuevan un acceso equitativo y un abastecimiento adecuado.

El estudio de investigación brinda la información necesaria para un fortalecimiento futuro eficiente y eficaz de los sistemas de extracción del vital líquido y de esa forma sentar bases para formular estrategias a corto plazo de gestión y prevención, contemplando un acceso equitativo y un abastecimiento adecuado *per cápita*. Tiene como objetivo primordial determinar el nivel freático de los treinta y dos pozos en estudio, ubicados en el acuífero metropolitano, específicamente en las sub-cuencas de los ríos Las Vacas, Los Ocotes y Los Vados, pertenecientes a la Cuenca del Río Motagua. Se tuvo como fin evaluar la variación de espacio y de tiempo, de los niveles freáticos en los pozos del proyecto Emergencia I, de EMPAGUA. Ubicados en cuatro sectores: Vista Hermosa, en la zona 15; Norte, en la zona 6; Canalitos en las zonas 16 y 17 y el sector Lavarreda-Rodeo, en la zona 18. Para ello se determinó la velocidad de descenso y la tasa de extracción anual en los pozos y posteriormente se identificó el pozo crítico para cada uno de los sectores, de acuerdo con el agua extraída y su relación a la profundidad de diseño del pozo, para conocer el límite de tiempo para su aprovechamiento. En este contexto se le denomina potencial hídrico, el cual se expresa como la diferencia entre el nivel dinámico del agua en el pozo y el nivel del fondo del mismo.

<sup>1</sup> Consulta realizada al Ministerio de Economía MINECO Invest in Guatemala: <http://uim.mineco.gob.gt/web/invest-in-guatemala/demografia>. INE, Censo Poblacional 2002 y Proyecciones de Población con base en el Censo 2002.

<sup>2</sup> Evaluación de recursos de agua de Guatemala. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. Distrito de Mobile y Centro de Ingeniería Topográfica. Junio 2000.

<sup>3</sup> Publicación realizada cada tres años sobre el informe principal de las Naciones Unidas sobre el agua, conjuntamente con el Foro Mundial del Agua. La base del Informe reside en la Cumbre para la Tierra celebrada en 1992 en Río de Janeiro, Brasil, y en la Declaración de las Naciones Unidas para el Milenio de 2000.

## I. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 ANTECEDENTES

Respecto al estudio y análisis del recurso hídrico subterráneo del Valle de la ciudad de Guatemala se cuenta con documentos de fuentes fidedignas que han aportado variables cuantitativas y cualitativas, se hizo un análisis de sus contenidos y se elaboró un resumen con el fin de contar con los resultados de cada estudio, a continuación se detallan los documentos evidenciados.

- Abril de 1973, publicación del Proyecto Hidrogeológico titulado “**Reconocimiento Hidrogeológico del Valle de Guatemala**”. Cuencas Hidrográficas de los ríos Michatoya y las Vacas. Del Ministerio de comunicaciones y obras públicas, Instituto Geográfico Nacional. División de investigación de recursos de agua. Departamento de Agua Subterránea.

El documento hace un análisis descriptivo y una exposición de las principales características hidrogeológicas, hidrológicas, morfológicas y geográficas del Valle de Guatemala, así como también de los parámetros y variables que condicionan la disponibilidad, localización y existencia del agua subterránea. Indica también el potencial hidrológico de las diferentes unidades hidrográficas, hidrogeológicas y geográficas identificadas en la región.

Menciona que para la cuenca del río Las Vacas (cuenca Norte) la **precipitación pluvial** es del 30% de la cantidad disponible en promedio del orden de 1270 mm; respecto al **agua infiltrada** es del 23% del volumen total disponible en promedio del orden de 328mm e indican que la **cantidad escurrida superficialmente** corresponde al 25% del promedio de 250 mm; para el **volumen promedio de las reservas subterráneas** es del 10% de los 75 mm y respecto a la **ocurrencia del agua subterránea** mencionan que en general las mejores condiciones las presenta la cuenca hidrográfica del río Michatoya (cuenca Sur).

Se distinguen dos estructuras hidrogeológicas de condiciones de almacenamiento y escurrimiento diferentes, una en cuanto al *relleno cuaternario* de material piroclástico con profundidades comprendidas entre 200 y 400 m donde se esperan rendimientos del orden de los 25 l/s. Y la segunda de *depósitos aluviales* situados en las partes bajas de los cauces actuales de los ríos, constituidos por material sedimentario suelto, llegando a tener en promedio un rendimiento de 100 l/s.

- En el año 1,978 se publica por las entidades; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, el Instituto Geográfico Nacional y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. “**El estudio del Agua Subterránea en el Valle de Guatemala**” (INSIVUMEH, IGN y PNUD, 1978).

Tiene información estratigráfica con base en los perfiles de pozos perforados, y análisis que identifican la geología del valle de Guatemala, también incluye la evaluación hidrológica. Presenta una síntesis hidrogeológica que se compone de cuatro partes, siendo la geología, geofísica, hidrología, hidrogeología, los cuales se citan en la capítulo cuatro. El recurso hídrico disponible en las cuencas del valle es del orden de los 350 mm (6 m³/s). Y menciona que tanto las aguas superficiales como las subterráneas tienen un régimen muy variable por lo intenso de la explotación durante la época seca.

- El estudio de **Factibilidad de Desarrollo de las Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala** (Emergencia I\_JICA, 1986).

Desarrollo tres áreas siendo la Norte, Noreste y Sur, determinando que las más propicias para el desarrollo de las aguas subterráneas son: la Norte y Noreste, por ello el estudio de Ckc Chuo Kaihatsu Corporation desarrolló el estudio hidrogeológico para esas zonas.

- **Estudio Hidrogeológico en el Valle de la Ciudad de Guatemala, Proyecto Emergencia I** (Ckc Chuo Kaihatsu Corporation, 1995). El objetivo básico ese estudio fue, lograr mejores conocimientos de las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos, en las áreas que fueron propuestas en el estudio de factibilidad de 1986 para extraer  $1\text{m}^3/\text{s}$ . como meta de proyecto Emergencia 1, a través de 38 pozos nuevos de explotación, determinando los sitios de perforación de los pozos de explotación y se estimó su caudal a través de los resultados.

Para ello revisaron datos e informaciones anteriores JICA (1986), SOGREAH (1990), INSIVUMEH (1978), etc. Elaboraron fichas de inventario de los pozos de Empagua, análisis de lineamientos geográficos, sistema de drenaje existente y rutas de ríos antiguos por foto interpretación, reconocimiento geológico de campo, estudio geofísico del método de sondeo eléctrico y electromagnético, perforación de cinco pozos de investigación para obtener información geológica e hidrogeológica a través de las pruebas de bombeo que se realizaron, recopilación de las informaciones meteorológicas, medición de aforo de los ríos en el área, inventario de los pozos de Empagua.

- Respecto al **Estudio hidrogeológico de las calizas de la zona Norte SOGREAH 1990.**

Indica que los movimientos del basamento que se presentan en forma de bloques levantados y hundidos dan origen a los afloramientos de calizas en el Norte y que los bloques hundidos se encuentran cubiertos por sedimentos volcánicos. Tiene dos tipos de calizas negras de poco espesor y con grado de karstificación bajo y las calizas blancas a gris-claro están parcialmente karstificadas. Los valores de trasmisividad y caudal específico del acuífero, dependen del grado de karstificación, por lo que para explotar mejor el acuífero es mejor ubicar los pozos en los grabens. No han realizado un balance hídrico por falta de datos básicos, sin embargo el nivel piezométrico en la zona caliza, baja año con año, habiendo más explotación que recarga y seleccionaron 23 sitios para los pozos de explotación debido a que presentan mejores condiciones hidrogeológicas en la zona Norte.

- **Estudio de recursos de agua subterráneas para el abastecimiento a la ciudad de Guatemala.** TAHAL 1990.

Menciona que en el subsuelo del Valle existen tres grupos de rocas acuíferas como piroclásticos granularios, lavas andesíticas fracturadas y calizas fracturadas, los tres grupos litológicos tienen interconexión hidráulica y forman un acuífero regional. Los mapas de isopiezas indican la existencia de tres subcuencas definidas como Norte, Noreste y Sur.

- **Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del Valle de Monjas, Jalapa, Guatemala.** Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos Sanitaria ERIS (Bardales W. 2010).

Consiste en el estudio hidrológico e hidrogeológico del Valle de Monjas en la cuenca del río Ostúa, determina la potencialidad de recarga natural del agua subterránea implementando un balance hídrico el cual presenta un error

relativo de 0.15%, teniendo un potencial de 620 Mm<sup>3</sup>/año, mientras que las extracciones en los pozos del Valle son de aproximadamente el 2% de la recarga anual por precipitación. Menciona que los resultados constituyen una ayuda en la gestión de los recursos hídricos subterráneos para poder crear un plan de manejo sostenible y duradero que garantice la preservación del recurso mediante la administración del sistema acuífero bajo un marco de extracción sustentable, orientando el uso del agua disponible de forma eficiente y planear el manejo apropiado del agua subterránea, siendo de gran utilidad. Proveerá información de alto valor científico para organismos e instituciones responsables de la administración local del agua en la región para que tomen decisiones adecuadas y menciona a las autoridades de la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

- **Determinación de zonas de recarga hídrica en la Laguna Retana y el Ovejero, Jutiapa Guatemala.** Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos ERIS (Chamorro T. 2010).

Investigación realizada en la parte alta de la cuenca del río Ostúa, específicamente en la parte la laguna de Retana y el Ovejero, identifica las principales áreas de mayor vulnerabilidad refiriéndose a las unidades de muestreo corresponden a la categoría de susceptibilidad alta la unidad uno y las unidades 2 y 3 en la categoría de recarga hídrica. Menciona que las unidades de muestreo 1 y 2 son las áreas de mayor pendiente, donde es necesario tomar acciones y propone estrategias para el manejo racional como: reforestación para utilizarlos para cultivos de maíz, frijol y otros, ya que las pendientes son moderadamente escarpadas. Propone también prácticas de conservación del suelo y talleres, sensibilización social, capacitación de aprovechamiento forestal (barreras vivas, sistemas agroforestales, acequias y construcción de diques en cárcavas) y cultivos agroforestales e identifica a las áreas de recarga hídrica natural en la sub-cuenca de la laguna estimando que el 5% tiene una recarga hídrica potencial de 230 mm/año y el 95% restante del área presenta una recarga de 18 mm/año. También indica que para la sostenibilidad del recurso hídrico, un balance hídrico en los suelos, mediante la metodología unidad de muestreo, determinando que el área de muestreo 1 presenta 230 mm/año, las unidades de muestreo 2 y 3 presentaron una recarga de 13.76 y 23.50 mm/año respectivamente. Recomienda implementar proyectos de conservación y manejo de las principales áreas críticas, tomando en cuenta el manejo sostenible de los recursos naturales. Realizar estudios hidrológicos que definan y caractericen con mayor precisión los medios acuíferos de la zona, para determinar y delimitar las zonas de los acuíferos en su extensión y espesor.

Por otro lado, se han realizado esporádicos monitoreos, de los niveles de agua en la red de pozos de EMPAGUA, sin llegar a establecer la tasa de descenso de los niveles de agua. Recientemente se han realizado estudios puntuales como:

- **Estudio de los Niveles Freáticos en el valle de Guatemala** (Velásquez E. 1995).

Concluye que el agua ha descendido de forma constante, provocado por la disminución del área de recarga, debido al rápido crecimiento de la población, al incremento de la demanda y al uso desordenado del agua, provocando una perforación de pozos en forma no controlada. Indica también que el área crítica se localiza en la parte central y Norte de la ciudad capital. Menciona que existe un proceso de recuperación de los niveles del agua, respecto a los pozos que tienen sus niveles de agua cercanos a la superficie, efecto que es tardío para los pozos que presentan características contrarias.

- La **Evaluación de Recarga Natural y Artificial de Acuíferos** (Miranda F. 2002).

Menciona las áreas que propone para llevar a cabo la recarga, siendo la cuenca del río Contreras con un área de 6.23 Mm<sup>2</sup>; la cuenca del río Santa Rosita con un área de 3.65 Mm<sup>2</sup>; Vista Hermosa con un área de 3.65 Mm<sup>2</sup>; la Universidad de San Carlos de Guatemala con un área de 1.20 Mm<sup>2</sup>. Propone un área experimental de recarga para realizar observaciones del comportamiento de niveles, siendo el parque ecológico Cayalá, la que se encuentra en la cuenca del río Contreras, y para estimarla menciona el método de fluctuación de nivel freático. Menciona también las posibles fuentes de agua para recarga tanto natural como artificial y métodos para recargas como zanjas, balsas, fosas y pozos de inyección con tratamiento, para evitar la contaminación. Indica también que al comparar la variación de los niveles con la explotación observa que, al descender el nivel freático, la explotación se ve limitada disminuyendo su régimen de bombeo, por lo tanto necesitan rediseñar los equipos de bombeo, por lo tanto, ya no es rentable económicamente, la explotación.

- El **Estudio sobre la Calidad del Agua Subterránea del Área Noreste del Valle de la Ciudad Capital de Guatemala** (Ramírez, 2003) y el **Riesgo de Contaminación del Acuífero** (Ramírez, 2005). Estos estudios se hicieron conjuntamente con EMPAGUA y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como proyectos de tesis de graduación.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Toda civilización depende de la disponibilidad de agua para el bien común; agua para consumo humano, para usos domésticos, para sistemas productivos agrícolas e industriales, para producir energía, incluso los cuerpos de agua se utilizan como medios de transporte, para comunicación y para actividades de esparcimiento. El crecimiento poblacional demanda trabajo, generándose urbanizaciones e industrias las cuales generan contaminación, más la falta de conocimiento hace que se produzcan malas prácticas políticas, sociales, ambientales y el uso del suelo se ve modificado, limitando las áreas de escurrimiento y ocasionando la reducción de recarga de los mantos freáticos. Estas características son causantes de un deterioro constante ambiental, social y cultural, aspectos que sugieren que se trata de una crisis de ordenamiento de los recursos hídricos, la cual empeora y continuara así, por inexistencia de una administración del agua. La verdadera tragedia es el efecto que ejerce sobre la vida diaria de los pobres, asolados por la carga de enfermedades vinculadas con el agua, viviendo en entornos degradados y a menudo peligrosos, luchando para obtener una educación para sus hijos, ganarse un sustento y obtener un alimento suficiente. La solución de la crisis del agua en sus numerosos aspectos, es uno de los diversos retos con que se enfrenta la humanidad, es necesario verla dentro de ese contexto.

El acuífero metropolitano de Guatemala, está siendo explotado constantemente, originándose la extracción del agua de los depósitos subterráneos, por lo que es sumamente importante determinar la tasa de variación hídrica espacial y temporal para llegar a establecer diferentes restricciones para su uso, tanto técnico, económico, social y ambiental, por el deterioro y escasez constante en el que se ve afectado. Cualitativamente se sabe que existe un descenso permanente del nivel de agua en diferentes pozos ubicados en la ciudad de Guatemala, sin embargo, no se conoce con certeza. Actualmente **¿cuáles son las tasas reales de variación en los niveles freáticos de los pozos?** son aspectos cuantitativos que se desarrollan en este análisis investigativo, con el fin de estimar las velocidades de descenso de los niveles de agua en los pozos ubicados en la zonas 06, 15,16, 17 y 18, ubicados en el área de investigación en la parte Norte de Guatemala. Para lo cual se toman como base, los pozos de Emergencia I, debido a que es conveniente tomar en consideración el potencial hídrico que deriva su extracción, para futuros estudios. Para

los pozos privados localizados en los alrededores de las zonas mencionadas no fue posible obtener datos debido a la restricción en la información. El aprovechamiento y utilización racional del recurso natural como el agua, es un factor coadyuvante al desarrollo del país para el beneficio de la población, por lo que tener el conocimiento cuantitativo del recurso hídrico subterráneo, sus posibilidades y limitaciones, es un aspecto importante, para proponer medidas preventivas de control y monitoreo, y contar en un futuro con una disponibilidad media anual; esto con la finalidad de establecer un uso equitativo y racional, en la extracción del agua, a corto plazo.

### **1.3 HIPÓTESIS**

Las tasas de extracción, son progresivas y permanentes en el acuífero, las cuales superan el metro de descenso anual, en la parte Norte del valle de la Ciudad de Guatemala.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 GENERAL**

Determinar del nivel freático, en los treinta y dos pozos en estudio ubicados en el acuífero metropolitano, sus variaciones espaciales como temporales para estimar las tasas de descenso y de extracción, identificar el pozo crítico en cada uno de los cuatro sectores y conocer el límite de tiempo para su aprovechamiento.

#### **1.4.2 ESPECÍFICOS**

- 1.4.2.1** Evaluar la variación de los niveles freáticos en los pozos del proyecto Emergencia I, de EMPAGUA, perforados en el acuífero metropolitano, clasificados en cuatro sectores para su estudio y determinar el pozo crítico de cada sector.
- 1.4.2.2** Determinar la velocidad de descenso y la tasa de extracción anual, de los treinta y dos pozos en estudio.
- 1.4.2.3** Estimar el potencial hídrico de los pozos, para conocer el límite de tiempo para su aprovechamiento.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El nivel freático del acuífero metropolitano en la zona Norte del valle de Guatemala, desciende progresivamente, debido a que el índice de crecimiento poblacional va en aumento sobre la zona de influencia del acuífero. Es cuando dadas las necesidades humanas, proliferan los diversos tipos de construcciones de tipo civil, industrial, comercial, gubernamental, etc., que conllevan a cambios en el uso de la tierra, perdiéndose las áreas, con cobertura vegetal. Estas condiciones limitan la recarga natural hídrica del acuífero y además las perforaciones de agua subterránea explotan regímenes muy intensos.

El recurso hídrico puede agotarse causando serios efectos a la salud de los usuarios, de este vital líquido y en consecuencia la muerte. A menos que se tomen medidas correctivas, porque se tienen conocimientos y experiencias suficientes para empezar a tratar la escala de problemas, muchos de ellos de actitud. Por lo que determinar la tasa de descenso y de extracción de los pozos, es de primordial interés en este estudio y conocer el límite de tiempo para el aprovechamiento de su potencial y en futuros estudios considerar los datos obtenidos, y generar un plan estratégico sostenible a corto plazo, para el uso racional del recurso hídrico de la zona en estudio y garantizar el abastecimiento adecuado y el acceso equitativo al agua.

## **1.6 ALCANCES DEL ESTUDIO**

El área de influencia para el estudio que se propone, corresponde a la cuenca Norte (río Motagua), donde se ubican los cuatro sectores de pozos, específicamente en las sub-cuencas de los ríos: Las Vacas donde se encuentran dos sectores: el sector Vista Hermosa (H), con 7 pozos, ubicado en zona 15 y el sector Norte (N) con 6 pozos, ubicado en zona 6; en la sub-cuenca del río Los Ocotes se encuentra el sector Canalitos (C) que tiene 10 pozos y se ubican en las zonas 16 y 17; y en la sub-cuenca del río Los Vados se localizan el sector Lavarreda (L) y sector El Rodeo (R) con 9 pozos ubicados en la zona 18, totalizando 32 pozos para el estudio de investigación. Estos sectores son denominados por la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA) como Proyecto Emergencia I, desde el año 1995. Para su estudio se contempla el uso de los datos existentes y los monitoreados a la fecha y respecto a los pozos privados se localizan algunos ubicados en el área de influencia de estudio, pero debido a la dificultad al acceso de datos cualitativos y cuantitativos, no se contempla su análisis.

## **II. METODOLOGÍA**

### **2.1 PROCESO DE INVESTIGACIÓN**

Se evaluó y determinó la información disponible, las características y el comportamiento hidrogeológico de los treinta y dos pozos, que conforman los cuatro sectores conocidos como: Lavarreda-Rodeo, Vista Hermosa, Canalitos y Norte; del proyecto Emergencia I de Empagua. Ubicados en las sub-cuencas de los ríos Las Vacas, Los Vados y Los Ocotes, pertenecientes a la cuenca del río Motagua. Consistió en la caracterización climática, geológica, morfológica, geofísica, hidrográfica, hidrológica e hidrogeológica para las subcuencas, luego se menciona la caracterización de cada sector evaluado dando a conocer que pozos existen en el lugar donde fueron explotados y el servicio que prestan a las diferentes zonas, así como la cantidad de producción, al momento de su inicio. Se tomaron lecturas geo satelitales pero se tuvo la limitante que no fue posible obtener los datos para la totalidad de los pozos, por ello no se presenta su digitalización, pero se elaboraron unas figuras, donde se localiza cada uno de los pozos, de acuerdo a su dirección catastral.

El análisis se basó en la información contenida en los registros de EMPAGUA y fue complementada con lecturas directas de campo, para verificar la situación de los pozos, con el apoyo del Ing. Rolando Aragón (Q.E.P.D.) especialista en agua subterránea. El objetivo de las visitas fue determinar las variaciones tanto en espacio como en tiempo y estimar la tasa de descenso y extracción anual del agua subterránea, para establecer la situación real del comportamiento de los pozos. Y posteriormente determinar el pozo crítico de cada sector, de acuerdo a su potencial hídrico y en relación a la profundidad de diseño de cada pozo (en este contexto se le denominó potencial hídrico, el cual se expresa como la diferencia entre el nivel dinámico del agua en el pozo y la profundidad del mismo) para conocer el límite de tiempo, de su aprovechamiento.

El método utilizado para la evaluación del nivel freático fue el de sondeo eléctrico; para lo cual se tomaron lecturas de los niveles estáticos y dinámicos, en diferentes períodos cuyos registros van desde el año 2000 a 2011, estos datos fueron analizados e interpretados de acuerdo a la información recolectada en cada sector, diferenciándose de acuerdo a su ubicación. Con la información recopilada se elaboraron las gráficas y los cuadros, para los cuatro sectores, con el fin de ilustrar las variables del descenso de los niveles del agua en metros y la extracción del agua, expresada dimensionales de galones por minuto, para ello se presenta un cuadro en detalle que presenta el análisis

de dos variables. Cabe mencionar que los cuadros fueron diseñados para ordenar la información y que fuese más legible al lector. Se incluyeron también gráficas de diferente tipo, con una sola variable o con combinación de ellas. Cada una, con su respectiva cota y dimensional, diseñadas buscando que se interpreten solas, es decir, que brinden información del fondo de pozo y del descenso del agua con los datos registrados. El primer análisis fue para el caso de las gráficas tituladas “comportamiento de los niveles freáticos y caudal extraído”. Para el segundo análisis, se ilustraron las “fluctuaciones de los pozos críticos”. Se muestran las mismas variables de las gráficas anteriores, pero se incluye la precipitación media anual, para describir las fluctuaciones desde los años 1998 hasta 2011. Se presenta el cuadro respectivo para cada pozo crítico, enfocando los datos concernientes a su caracterización, expresados en caudales en litros por segundo y galones por minuto, también en volumen anual promedio extraído en millones de metros cúbicos, para tener una mejor apreciación. Los resultados del estudio se encuentran: para las sub-cuencas, para las variaciones de espacio y de tiempo y para los pozos críticos. Por último se presentan las conclusiones y se consideran algunas recomendaciones puntuales.

En el anexo, se contemplan gráficas con mayor detalle: se dan a conocer las gráficas del primer análisis mencionado, seguidamente se contemplan gráficas referentes al segundo análisis, posteriormente se encuentra un tercer análisis de nivel estático, y por último un cuarto análisis de la producción acumulada del agua en los pozos. Información realizada para los cuatro sectores estudiados. Finalmente se encuentran los perfiles estatigráficos de los pozos y las sub-cuencas. Por último, se presentan las conclusiones y se consideran algunas recomendaciones puntuales.

### **III. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

#### **3.1 Importancia del Agua Subterránea**

El agua subterránea es vital para los pueblos. En todo el mundo innumerables agricultores y áreas industriales, dependen del agua, para su abastecimiento. El desarrollo acelerado en las últimas décadas se ha traducido en grandes beneficios sociales y económicos, al ofrecer a bajo costo sus productos, siendo fiables y principalmente de alta calidad debidos al suministro de agua tanto para la población urbana, rural y para el riego de alto valor para los cultivos, es de vital importancia para el mundo y esencial para el logro de los “Objetivos de Desarrollo del Milenio”.

#### **3.2 Uso sostenible del agua**

A nivel mundial, se le reconoce como un objetivo fundamental de las estrategias nacionales del agua, para el desarrollo sostenible y la gestión de recursos de agua. La sostenibilidad de las aguas subterráneas está estrechamente vinculada con una serie de micro y macro políticas, de las cuestiones que influyen en el agua y el uso de la tierra, y representa uno de los mayores desafíos en la gestión de los recursos naturales. La inversión en gestión y protección de la base de recursos, se ha descuidado gravemente, por lo tanto se necesitan avances prácticos con urgencia, no hay una receta simple para la acción, debido a la variabilidad inherente de los sistemas de aguas subterráneas, relacionados con situaciones socio-económicas.

Muchas de las naciones en desarrollo, necesitan apreciar su dependencia socioeconómica de las aguas subterráneas, e invertir en el fortalecimiento de las disposiciones institucionales y la creación de capacidades institucionales para mejora de su gestión antes de que sea demasiado tarde.

La tradicional separación institucional de las aguas superficiales de las aguas subterráneas, ha creado barreras de comunicación fundamentales, que ahora se extienden a partir de los conocimientos técnicos a los desarrolladores de políticas, directores de operaciones y los usuarios del agua. Estas barreras, impiden la comprensión de los procesos y las consecuencias de las interacciones, entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

### **3.3 Influencia del uso de la tierra en el agua subterránea**

La región de Guatemala cada año se hace más densa, debido a migraciones, oportunidades de empleo, acceso a la educación, etc.; paralelamente involucra el desarrollo industrial dando lugar a una urbanización acelerada, que demanda la utilización de servicios de energía eléctrica, de abastecimientos de agua, de alcantarillado, de telefonía, etc., aspectos que provocan modificaciones en el uso del suelo, afectando el proceso fundamental del ciclo del agua y ocasionando agotamiento en los acuíferos.

Su papel es básico, para el mantenimiento de los humedales y de los caudales de los ríos y como amortiguador de los efectos de sequías<sup>4</sup>, así como, para la recarga del manto freático.

### **3.4 Amenazas de crisis del agua subterránea**

Agua subterránea, es el agua del sub-suelo que se encuentra en la zona de saturación y que alimenta pozos, manantiales y escorrentía subterránea.<sup>5</sup> La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, incluso más de 6.000 millones de seres humanos, está enfrentándose con una grave crisis de agua. La solución de la crisis del agua en sus numerosos aspectos, no es sino uno de los diversos retos con que se enfrenta la humanidad, al confrontar la vida en este tercer milenio, y es necesario verla dentro de ese contexto. Se debe colocar dentro de un panorama general de solución de problemas y resolución de conflictos. Mas, entre todas las crisis sociales y de recursos naturales, con que se enfrentan los seres humanos hoy en día. La crisis del agua que se encuentra en el meollo, de nuestra supervivencia y la de nuestro planeta Tierra<sup>6</sup>.

Paralelo a esta situación se permanece, a la expectativa de la posible ocurrencia de desastres hidrometeorológicos, tales como depresiones, tormentas, huracanes, sequías e inundaciones que alteran el proceso de las aguas subterráneas. Otro factor es que, el agua subterránea es un recurso oculto, y por lo tanto su importancia cuantitativa es mucho mayor que la de las aguas superficiales; por lo tanto el efectuar el seguimiento y restaurar su estado, así como, prevenir su contaminación; resulta más difícil que en las aguas superficiales, debido a su inaccesibilidad. Por lo que su carácter oculto dificulta una adecuada localización, caracterización y comprensión de los impactos<sup>7</sup> naturales y también de los causados por la actividad humana, sobre el uso y la calidad de las aguas subterráneas; por lo que adquiere un papel relevante. Pero a menudo esa falta de caracterización cuantitativa, es traducida como una falta de sensibilización o prueba sobre el alcance de los riesgos y de las presiones a que se encuentra vulnerable.

<sup>4</sup> Protección de las aguas subterráneas en Europa. La nueva directiva sobre las aguas subterráneas – consolidación del marco normativo de la UE. Agua Medio Ambiente. Comisión Europea. European Communities, 2008. Pp. 7.

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH. Glosario hidrológico. Extraído en fecha 30 diciembre 2011 de: [http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios\\_de\\_guatemala.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios_de_guatemala.htm)

<sup>6</sup> En breve: La crisis mundial del agua. *Texto extraído del primer World Water Development Report de las Naciones Unidas (Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: Agua para Todos, Agua para la Vida), una empresa conjunta de 23 agencias de las Naciones Unidas, incluso el PNUMA. Consultado de <http://www.ourplanet.com/imgversn/141/spanish/glance.html> 30 diciembre 2011.*

<sup>7</sup> Protección de las aguas subterráneas en Europa. La nueva directiva sobre las aguas subterráneas – consolidación del marco normativo de la UE. Agua Medio Ambiente. Comisión Europea. European Communities, 2008. Pp. 7.

### 3.5 Sobreexplotación del agua subterránea

“Ocurre cuando la extracción del agua subterránea excede la recarga infiltrada, proporcionada por la precipitación o por el agua superficial”. Ninguna entidad es responsable del control de uso de las aguas subterráneas nacionales. Empagua tiene una escasa base de datos y no se dispone de información precisa y continua de los niveles freáticos, tampoco se realiza monitoreo del impacto ambiental, ni se controla la perforación de pozos particulares circunvecinos a los pozos en estudio y por lo tanto la extracción es descontrolada, por lo que se origina el agotamiento del acuífero metropolitano del valle de Guatemala.

Es importante considerar que la extracción excesiva en un acuífero, resulta peligrosa, debido a las cavernas que se forman, y que como resultado de un movimiento telúrico posiblemente, tenga coincidencias en la perturbación de fallas geológicas.

Estudios revelan que las “zonas de máximo movimiento durante el terremoto y de máxima acumulación de energía, por extracción de agua subterránea coinciden”<sup>8</sup>, el estudio podría ayudar al desarrollo de mejoras en la cuantificación del riesgo sísmico y complementación de mapas para definir la normativa de construcción. P. González.

### 3.6 Criterios de Empagua sobre el agotamiento de acuíferos:

Los acuíferos que surten de agua a unos dos millones de habitantes en Ciudad de Guatemala se están agotando, denunciaron asesores de la Empresa Municipal de Agua (Empagua): "Hace unos 40 años encontrábamos agua a 600 pies de profundidad, ahora debemos excavar hasta mil 700 pies para desarrollar los pozos de Empagua", dijo a Tierramérica Carlos Quezada, hidrólogo asesor de la Municipalidad. "A ese problema se suma la variabilidad del clima. En los últimos años se han registrado veranos prolongados e inviernos en los que llueve mucho pero por períodos cortos y solo en lugares determinados, lo cual no favorece la recarga hídrica", agregó.

Julio Escoto, Director de la Unidad Ejecutora de Proyectos de Empagua, comentó a Tierramérica que "en el valle de la capital se redujeron las áreas de infiltración del agua de lluvia y en contraposición, aumentó la explotación de ese recurso". "En la ciudad hay un acuífero superior y un acuífero inferior. El primero ya se agotó, y en la actualidad se explota el segundo", precisó.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> La sobreexplotación de las aguas subterráneas agravó el terremoto de Lorca. Martes, 23 de octubre de 2012 Diario Progresista. Extraído de: <http://www.diarioprogresista.es/la-sobreexplotacion-de-las-aguas-subterranas-agravo-el-terremoto-de-lorca-18061.htm>

<sup>9</sup> Inter Press Service, Tierra América Medio Ambiente y Desarrollo (2004).

## IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

#### 4.1.1 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio se localiza en la Región I, en la República de Guatemala (Fig. 1) según consta en la Ley Preliminar de Regionalización de la República de Guatemala, Decreto 70-86 del Congreso de la República, la cual establece la Región I como la "Metropolitana, ocupa el 1.95% del área total del país, tiene una extensión de 264 km<sup>2</sup>, su posición geográfica es de 14° 38' 34.66" N de latitud Norte y los meridianos 90° 30' 47.72" O de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altura de 1502 msnm.

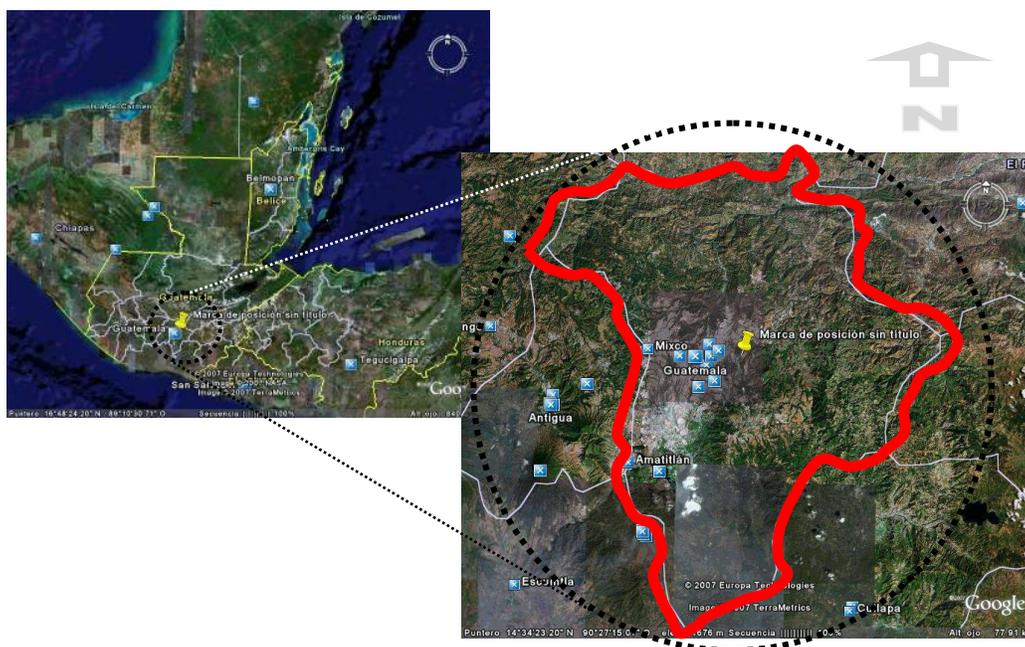


Fig. 1 República de Guatemala. Departamento de Guatemala, respectivamente.  
Fuente: Google Earth (2006) Terra Metrics.

#### 4.1.2 RASGOS MORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

En la litosfera las placas se mueven algunos centímetros al año produciendo roces, y deformaciones de los bordes o en los límites entre las placas. La dirección del movimiento y la composición de las placas, determinan las características del límite, entre las mismas. El territorio nacional está dividido por tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos, las cuales debido a sus movimientos caracterizan los rasgos topográficos del país de Guatemala. El contacto entre las placas del Caribe y de Cocos, es de tipo convergente (destruye la corteza) y se produce cuando la placa de Cocos, se mete por debajo de la placa del Caribe, produciendo subducción, lo que da origen a formación de brote de cadenas montañosas, volcanes, temblores, terremotos, los cuales se localizan en el territorio Guatemalteco a 50 km frente a las costas del Océano Pacífico y este proceso genera deformaciones a la Placa del Caribe, produciendo fallas como Jalpatagua, Mixco y Santa Carina Pinula (INSIVUMEH, geología). La geología volcánica representa aproximadamente un 20 por ciento del territorio del país y dentro de estos lugares se ubica la ciudad de Guatemala quien tiene fuentes de agua producto de estas formaciones.

A través del tiempo la geomorfología de las cuencas, ha ido evolucionando por motivos de erosión fluvial, movimientos tectónicos y de actividad volcánica.

**Geología**<sup>10</sup>, menciona que la descripción de la estratigrafía y de la historia tectónica del área del valle de Guatemala es una tarea complicada debido a la falta de registros cronológicos y finalmente debido a que la superficie del altiplano consiste en una extensa cubierta cenozoica de rocas piroclásticas. Distinguió dos unidades litológicas; *la primera, de rocas piroclásticas no consolidadas del Cuaternario depósitos de caída de ceniza; tefras* que forman capas continuas de espesores entre 0.5 y 10 m., la granulometría son depósitos de lapilli de pómez con muy poca ceniza fina, la permeabilidad es buena pero su reducido espesor es un factor limitante. Y *la segunda, de rocas consolidadas del Terciario* que forman una imponente acumulación de productos volcánicos de composición y formación muy variada, lavas andesíticas, basíticas, tobas soldadas vitricas y no vitricas. La mayoría están cubiertas por las cenizas y tobas cuaternarias, las cuales han sido afectadas por la tectónica de bloques del terciario y del cuaternario dando lugar al intenso fracturamiento.

Los acuíferos en el valle de la ciudad de Guatemala, están divididos en tres tipos<sup>11</sup>, según la clasificación de sus estratos y el período de evolución, son los siguientes:

- Acuífero constituido por relleno volcánico cuaternario (Sur): aluviones fluviales cuaternarios (gravas, arenas, limos y arcillas) cuyo material ha sido erosionado, acarreado y vuelto a depositar mecánicamente por una corriente de agua, formando lechos, capas o estratos sedimentarios. Depósitos volcánicos cuaternarios, formados por una gran acumulación de fragmentos de rocas resultantes depositadas por distintas erupciones, de ceniza y diversos flujos de lava (relleno piroplástico). Sedimentos fluido-lacustres cuaternarios, se encuentran distribuidos dentro de los flujos de lava y los depósitos de caída de ceniza, se ubican al Sur de la divisoria continental de aguas, cerca de Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y Amatitlán.
- Acuífero constituido por andesita fracturada, sedimentos fluviales y lavas volcánicas del terciario. (valle de la ciudad capital): Lavas volcánicas del terciario son lavas coladas de variada composición mineralógica generalmente fracturadas (andesitas, riolitas y basaltos).
- Acuífero constituido por calizas del cretácico, las cuales tienen diferentes niveles de aguas subterráneas (Norte): calizas del cretácico se encuentran localizadas en la región Norte de la cuenca del río Las Vacas (metamórficas). Los afloramientos existentes muestran una intensa fracturación y en algunos casos presentan indicios de karstificación.

<sup>10</sup> INSIVUMEH, IGN y PNUD 1,978. Parte I "El estudio del Agua Subterránea en el Valle de Guatemala" Publicación por las entidades; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, el Instituto Geográfico Nacional y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

<sup>11</sup> Chuo Kaithatsu Corporation, julio 1995. "Estudio Hidrogeológico en el valle de la Ciudad de Guatemala". Proyecto Emergencia I.

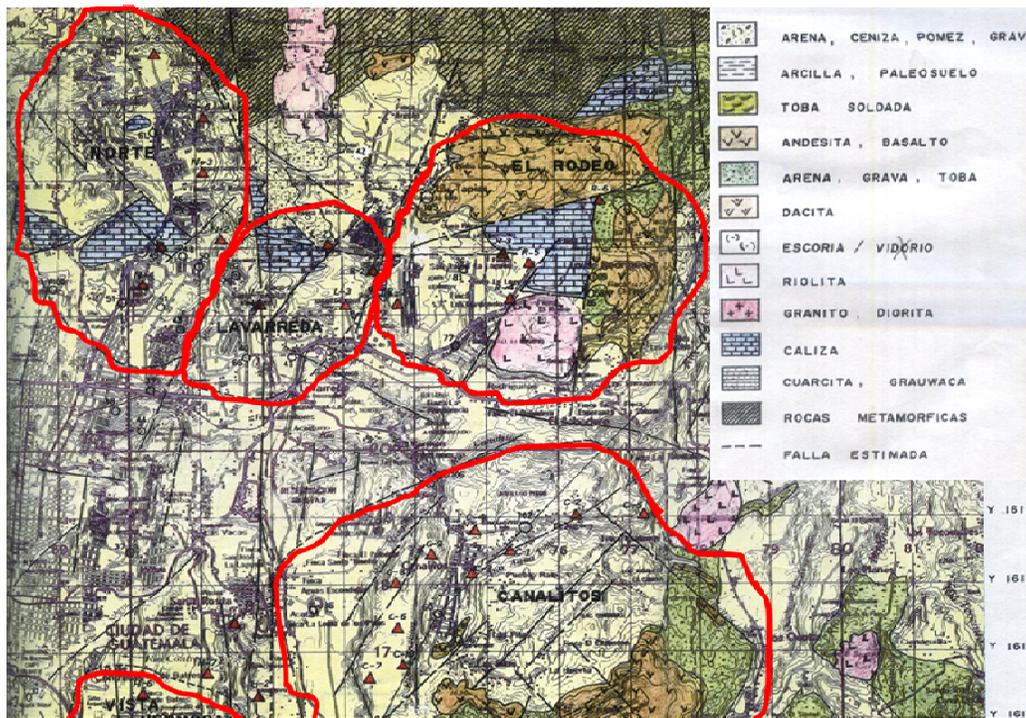


Fig. 2 Geología de los sectores en estudio.

Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation Proyecto de Desarrollo de las aguas subterráneas En la Ciudad de Guatemala EMPAGUA (1995).

Editado por: Morales S. Jacqueline. (febrero 2012).

Geológicamente se distinguen en el país cuatro provincias fisiográficas, que son de Sur a Norte<sup>12</sup>: la planicie costera del Pacífico, la provincia volcánica, las tierras bajas de Petén y la cordillera central.

- La planicie costera del pacífico, con un ancho promedio de 50 kilómetros a lo largo del litoral Pacífico, se ha creado esta planicie por los productos de erosión de las tierras altas volcánicas. Por su parte, la provincia volcánica, cubre el Oeste, Sur y Este del país, extendiéndose hacia las otras repúblicas del istmo. A su vez, las tierras bajas de Petén representan un área de bosque tropical húmedo, con elevaciones promedio de 100 metros, formadas por sedimentos mesozoicos y terciarios levemente plegados. La cordillera central se extiende a través del centro del país, forma parte del sistema cordillerano que se desarrolla desde Chiapas, en México, hasta las Islas de la Bahía en Honduras, se presenta en dos sistemas: el de la Sierra Madre y el de los Cuchumatanes, siendo ramales ambos de la cordillera de los Andes.
- El sistema de los Cuchumatanes atraviesa el país desde la frontera con México hasta el Océano Atlántico, constituye la mayor elevación maciza de Centroamérica septentrional, alcanzando elevaciones de 3,800 metros sobre el nivel del mar (msnm).

<sup>12</sup> Chuo Kaihatsu Corporation, julio 1995. "Estudio Hidrogeológico en el valle de la Ciudad de Guatemala". Proyecto Emergencia I.

- La Sierra Madre cruza el territorio nacional de Occidente a Oriente, paralelamente al Océano Pacífico, en la boca costa, su parte central forma planicies altas por lo que se llama altiplanicie central de la República, estando ubicadas en ellas las poblaciones más importantes, como la ciudad capital de Guatemala.

**Geofísica**<sup>13</sup>, describe los métodos de prospección utilizados como apoyo a las investigaciones geológicas e hidrogeológicas, dan los resultados de cada método así como la interpretación hidrogeológica deducida como síntesis. Y una apreciación sobre la aplicabilidad de los métodos utilizados a rocas volcánicas, alcances y limitaciones. Indica los perfiles eléctricos en pozos que atraviesan el depósito cuaternario de piroclásticos, mostrando zonas de resistividad relativamente alta, indican que sus variaciones no son muy significativas y que los contrastes se manifiestan bastante bien entre la zona resistente (permeable) y la zona menos resistente (arcillosa). Entonces la **prospección eléctrica** tiene rangos de resistividades (que dependen del grado de fracturación y del contenido de agua) asignadas a cada formación geológica, para el depósito aluvial saturado formado por gravas, arenas e intercalaciones de arcilla con valores, que varían de 50 a 150 ohm metro; los saturados, varían de 150 a 300 ohm-metro, y para las rocas volcánicas tipo andesita-dacita, varían de 300 a 400 ohm-metro. En el anexo se pueden observar los perfiles estratigráficos de los pozos estudiados y las sub-cuencas elaborados por el mismo autor al que se hace referencia al pie de página.

#### 4.1.3 RASGOS HIDROGRÁFICOS

- **Agua superficial**

La hidrografía de la República de Guatemala está constituida por los sistemas montañosos sobre los cuales se desarrolla la divisoria continental de aguas, que determinan dos grandes regiones hidrográficas, cuenca Norte y cuenca Sur, una región corresponde a los ríos que desembocan en el océano Atlántico, y la otra región de los ríos que desembocan en el océano Pacífico, la cual se divide en dos vertientes: la del Caribe y la del golfo de México. En este mismo sistema se extiende un eje con treinta y nueve volcanes, los cuales emergen a lo largo de aproximadamente 260 kilómetros. Entre ellos se encuentra la cumbre más elevada del país, el volcán Tajumulco (4,220.36 msnm); encontrándose algunos con actividad constante como el volcán Pacaya, muy cercano a la Ciudad Capital.

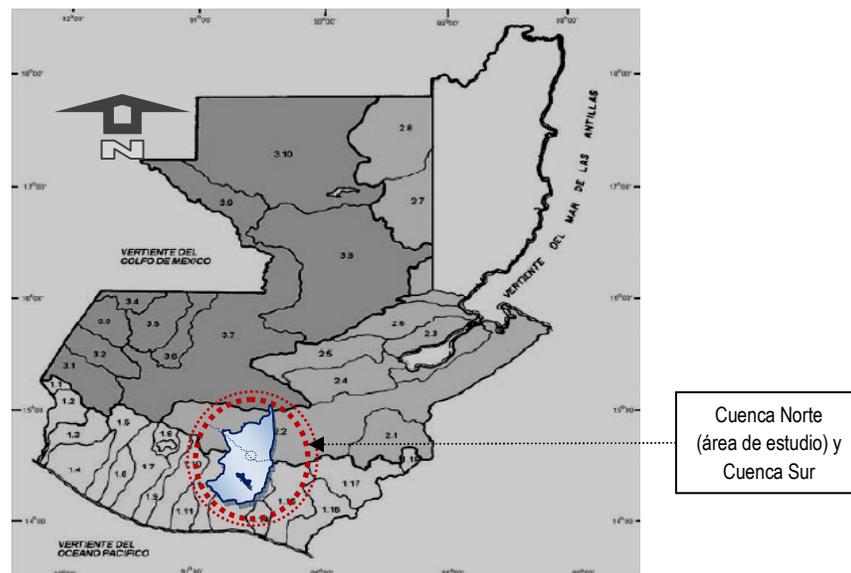
- **Agua subterránea**

El territorio nacional se divide en tres zonas geológicas y geográficas, la llanura costera de la parte Sur, el altiplano central que incluye el valle de Guatemala y la planicie boscosa en el Norte (Losilla M. 2001, pp. 33). El altiplano central está compuesto por cadenas montañosas de la Sierra Madre y los Cuchumatanes, con elevaciones que oscilan de los 600 a 3,000 m, con numerosas cuencas y volcanes jóvenes, montañas constituidas por rocas volcánicas, del Neógeno y del Cuaternario que cubren un área de 8,658 km<sup>2</sup>. Ocupa una décima parte de la superficie total de país, (Kokusai, 1995) se localiza en la parte central de la República de Guatemala, compuesto por los Departamentos de Quetzaltenango, Sololá, Totonicapán, Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala, quien a su vez comprende los municipios de Mixco, San Lucas Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Amatitlán y Ciudad Guatemala (área de análisis de este estudio).

<sup>13</sup> INSIVUMEH, IGN y PNUD 1,978. Parte I "El estudio del Agua Subterránea en el Valle de Guatemala" Publicación por las entidades; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, el Instituto Geográfico Nacional y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Esta cadena volcánica originó los principales acuíferos volcánicos de Guatemala, dividiéndose en 9 cuencas intermontanas que abarcan 6 departamentos (Losilla M. 2001, pp.35) entre estas. El área de estudio se encuentra en las cuenca del río Las Vacas con 235 km<sup>2</sup> (afluente del río Motagua en la vertiente del océano Atlántico, Mar de Las Antillas o Del Caribe) (Fig.4) del departamento de Guatemala y dentro de ella, se encuentran las sub-cuencas de los ríos Las Vacas, Los Vados y Los Ocotes. El área de estudio está limitada al Este y Oeste por macizos montañosos de mayor elevación, separando las vertientes del Mar Caribe y el Océano Pacífico por medio de la divisoria continental de aguas (Fig.11.), que va en dirección aproximada de la calzada San Juan, el Trébol, y Puerta Parada, (Velásquez, 1995). lugar donde se encuentran las fuentes de abastecimiento de agua que arriban por gravedad a la ciudad Capital, la cual se ubica en el Trébol, que de la calzada Roosevelt sube hacia la avenida Bolívar, en las elevaciones 1600 y 1900 m.s.n.m.(Insivumeh, 1978). Presenta pendientes que oscilan entre 0 y 0.9 m/m, en un 35%, y entre 0.3 a 0.4 m/m el 40%, mientras que el 25% entre 0.4 a 0.9 m/m. (INSIVUMEH, 2006).

La cuenca del río Michatoya (Lago Amatitlán) con 571 km<sup>2</sup>, afluente del río María Linda en la vertiente del Océano Pacífico, (Fig.5 y Fig.6) también conforma el valle de Guatemala, encontrándose entre los 1100 y 3000 msnm (Insivumeh, 1978), conocida como la cuenca Sur. La disponibilidad anual de agua subterránea se estima en 33,699 millones de metros cúbicos<sup>14</sup>, aproximadamente el 64% del total del agua subterránea es para el área metropolitana.<sup>15</sup> El acuífero de mayor rendimiento es el de la costa del Pacífico. En 1998, un total de 86 pozos suministraban 1 metro cúbico de agua por segundo.



**Fig. 3** Cuencas y vertientes de la República de Guatemala. Cuenca río Motagua (2.2), cuenca río María Linda (1.13).  
Fuente: Capital Hídrico y Usos del Agua, Guatemala, López (2002) Editado por: Morales S. Jacqueline. (2007)

La Cuenca del río Motagua en la vertiente del Atlántico comprende tres sub-cuencas siendo la sub-cuenca del río Los Ocotes, Los Vados, y Las Vacas (Fig. 8) en las cuales se encuentra el área de influencia de este estudio, aproximadamente tienen un área de 169 km<sup>2</sup>, (Kaihatsu, 1995), las elevaciones respectivas son 1571.21; 1438.17; 1559.09 msnm; para el análisis de la precipitación media y su distribución, Kaihatsu seleccionó 13 estaciones

<sup>14</sup> IARNA/URL, 2002. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

<sup>15</sup> Evaluación de Recursos de Agua de Guatemala. Departamento de Guatemala. pp. 30.

pluviométricas, con registro de un período de veinte años de 1970 a 1989, y por el método de isoyetas la precipitación media anual (P) para las sub-cuencas es de: 1287,1042, y 1295 mm/año, respectivamente.

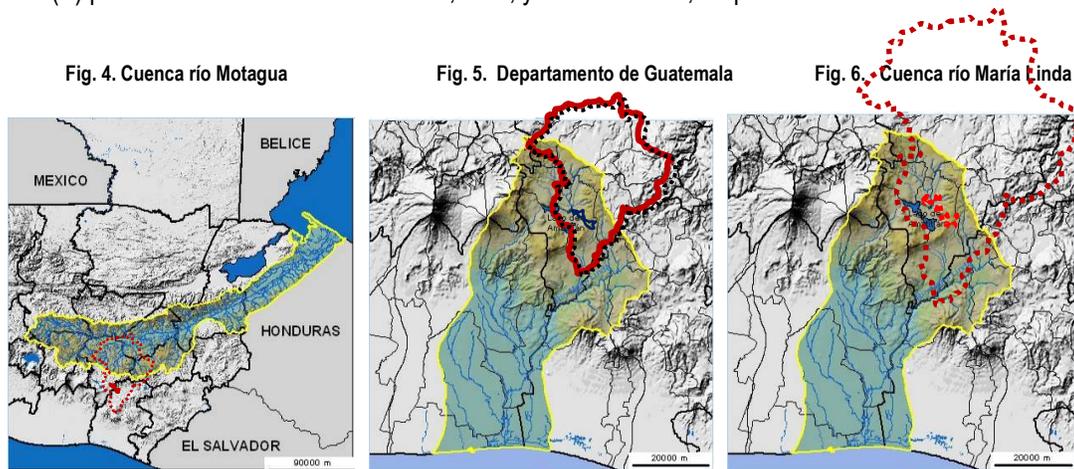


Fig. 4 Localización de la cuenca río Motagua, vertiente Atlántico, longitud del cauce 483.6 km. lineales.

Fig. 5 Localización de la cuenca río Motagua. Inserto Ciudad de Guatemala, cuenca Norte, 235 km<sup>2</sup>

Fig. 6 Localización de la cuenca río María Linda, inserto Ciudad de Guatemala, cuenca Sur, 571 km<sup>2</sup>.

Fuente: INE – IGN. Portal de Recursos Hídricos de Guatemala. [guateagua.org.gt](http://guateagua.org.gt) Desarrollado por Geotecnológica. Elaborado y editado por: Morales S. Jacqueline. (Enero, 2012).

#### 4.1.4 RASGOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

El país tiene diferentes pisos altitudinales que conduce a la variabilidad de climas, fisiografía y suelos, los cuales constituyen factores importantes en la diversidad de hábitats y ecosistemas, por ello en el tipo y variación de vegetación y fauna; lo que explica la variabilidad de cultivos que pueden producirse y las diferentes formas biológicas susceptibles de ser aprovechadas. Entre las altitudes de 915 a 2,440 msnm, se determina la zona en la que se concentra la mayor parte de la población, la cual convive en un clima cálido tropical, cuya temperatura tiene un promedio anual de 20° centígrados, marcándose dos estaciones por la presencia de lluvias<sup>16</sup> de mayo a octubre la estación lluviosa, siendo los meses de junio y septiembre los más marcados, presentando una canícula en los meses de julio y agosto que son meses húmedos, y la estación seca en los meses de abril a noviembre<sup>17</sup>. La variación de lluvias en la República de Guatemala oscila entre 500 a 5,600 mm para la región seca de Oriente, en los departamentos de Jalapa, Jutiapa, Chiquimula y Zacapa y para la zona Norte y Occidente los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz y Baja Verapaz, respectivamente. El promedio anual de precipitación pluvial es aproximadamente, en la ciudad de Guatemala, de 2000 mm.

**Hidrología**<sup>18</sup>, describe conceptos cualitativos y cuantitativos sobre el régimen de aguas y factores ambientales y de desarrollo que lo afectan. Describe parámetros importantes del ciclo hidrológico y da valores calculados para varios períodos hidrológicos, y figuras numéricas sobre el balance de aguas para las diferentes cuencas y subcuencas que integran el valle.

<sup>16</sup> Red de Seguridad y Defensa de América Latina RESDAL Título: *Libro de la Defensa Nacional de la República de Guatemala - Primera parte 2001-2011* pág.

<sup>17</sup> Agua en Guatemala. ¿Cuánta agua tenemos? Pág. Única.

<sup>18</sup> INSIVUMEH, IGN y PNUD 1,978. Parte III "El estudio del Agua Subterránea en el Valle de Guatemala" Publicación por las entidades; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, el Instituto Geográfico Nacional y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

El régimen hidrológico del valle es moderadamente húmedo comparado con otras regiones del país, la precipitación media en el valle es de 1000 a 1200 mm, en la Boca Costa Occidente, de 2000 a 4000 mm en el valle central (Motagua) de 1000 mm y en el Norte y Noroccidente, de 2000 a 6000 mm.

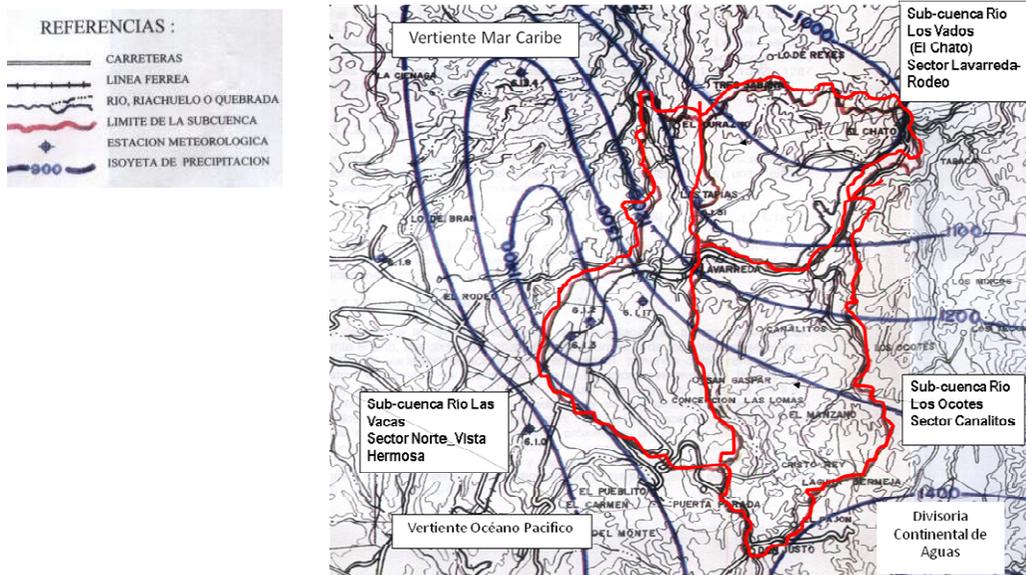


Fig. 7 Isoyetas precipitación promedio en zona de estudio, período de registro 1970-1989.

Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation Proyecto de Desarrollo de las aguas subterráneas en la Ciudad de Guatemala EMPAGUA (1995).

Editado por: Morales S. Jacqueline. (febrero 2012)

#### 4.1.5 RASGOS HIDROGEOLÓGICOS

**Hidrogeología**<sup>19</sup>, describe conceptos y aproximaciones sobre la ocurrencia y disponibilidad del agua subterránea en el Valle, definen los acuíferos, condiciones de carga, escurrimiento y descarga de acuerdo con las características hidrológicas y geomorfológicas del espacio físico de ocurrencia y características cualitativas y cuantitativas.

Sub-cuenca	UTM	Área	Limite área	elevaciones máxima, media y mínima (msnm)	Fisiográficamente esta cuenca presenta patrón de drenaje	Permeabilidad
Río Los Ocotes	Y:1608N – 1622 N X: 772E – 780 E	67 km <sup>2</sup>	Población del Buen Pastor, antes de la confluencia de los ríos Ocotes y Bijague	2000;1571.21;1200	Dicotómico, (grandes pendientes y mesetas al centro de la cuenca formando barrancos profundos de más de 80 m	Primaria (baja) heterogeneidad y granulometría variada en el relleno volcánico
Río Los Vados	Y:1622N – 1628 N X:772E – 780E	45 km <sup>2</sup>	Salida fluye hacia la población de El Chato	1690;1438.17;1100	Tipo sub-detrítico, controlado por el sistema de fallas preferentemente N-S y E-W;	Hidrogeológicamente se constituye de tres acuíferos con buena conexión hidráulica entre sí, siendo el acuífero de relleno volcánico, de sedimentos fluviales con lavas y calizas.
Río Las Vacas	Y:1612N – 1628 N X:766E – 773E	57 km <sup>2</sup>	Confluencia de los ríos Las Vacas con el río Chinautla	1900;1559.09;1900	Tipo paralelo, controlado por la falla ubicada en este sector con orientación N-S	

Cuadro. 1 Caracterización de las sub-cuencas en estudio.

Fuente: CHUO Kaihatsu Corporation, julio 1995.

Elaborado por: Morales S. Jacqueline. (noviembre 2012).

<sup>19</sup> INSIVUMEH, IGN y PNUD 1,978. Parte IV "El estudio del Agua Subterránea en el Valle de Guatemala" Publicación por las entidades; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, el Instituto Geográfico Nacional y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

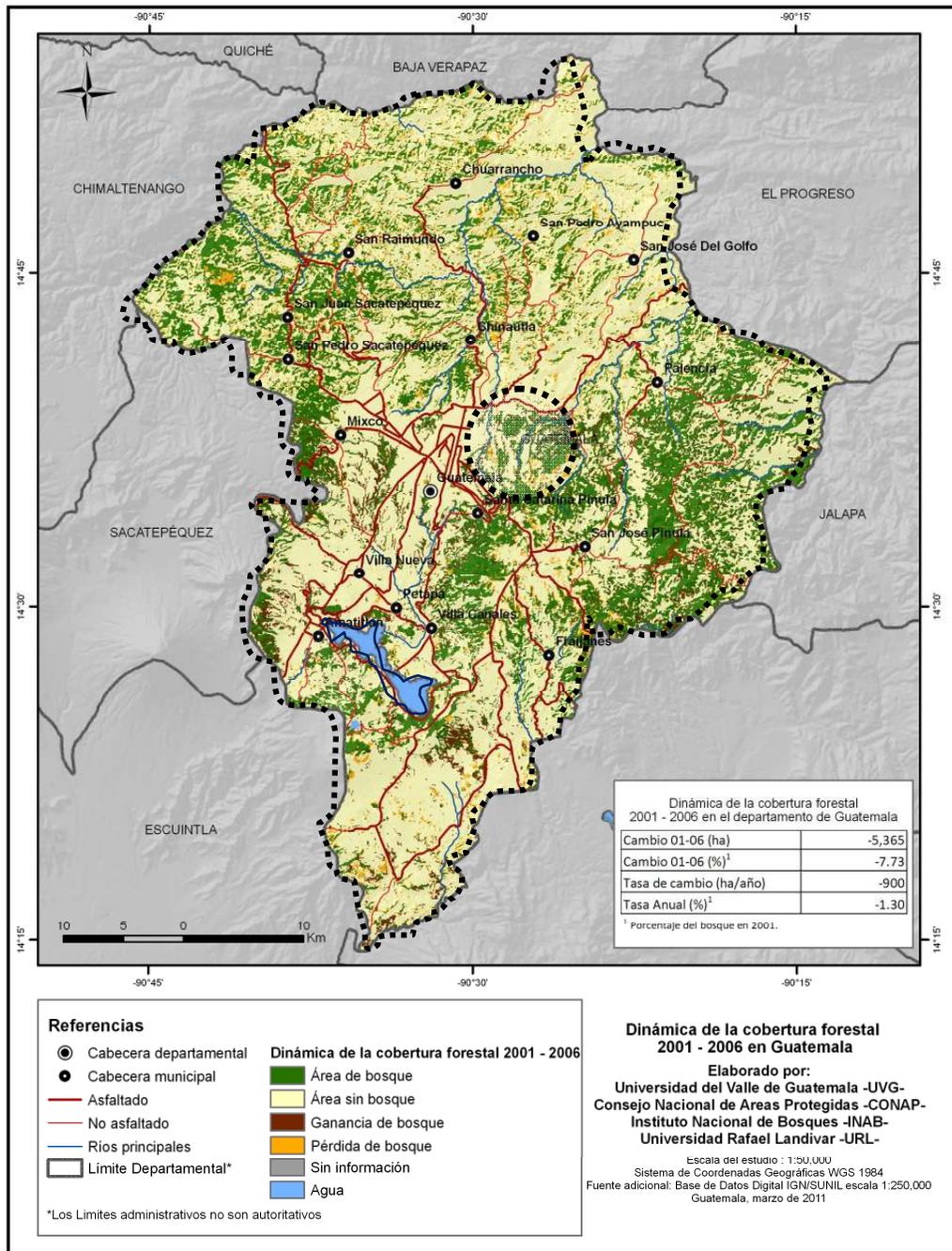


Fig. 8 Cobertura forestal, ciudad de Guatemala y municipios.  
 Fuente: SIFGUA Contribuyendo al desarrollo forestal de Guatemala (Publicación 2006). Pagina consultada <http://www.sifgua.org.gt/Miembros/Cobertura.aspx> en fecha 04 de febrero 2012.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS SUB-CUENCAS

### 4.2.1 Sub-cuenca del río Los Ocotes

UTM Y: 1608 N – 1622 N y X: 772E – 780E, cubre el área 67 km<sup>2</sup>. Las elevaciones máximas, son 2000, 1571.21 y la mínima de 1200 msnm, de la cuenca. El límite del área se encuentra a la altura de la población del Buen Pastor, antes de la confluencia de los ríos Ocotes y Bijague. Presenta un patrón de drenaje tipo dicotómico (grandes pendientes y mesetas al centro de la cuenca formando barrancos profundos de más de 80 m que drenan a la zona estrecha localizada a la altura del Buen Pastor. Esta constituida por dos acuíferos denominados acuífero del relleno volcánico y acuífero de sedimentos fluviales y lavas, que por sus características geológicas tiene buena conexión hidráulica entre sí. El primero de ellos es de gran extensión superficial, hidrogeológicamente sirve como embalse regulador de recarga del acuífero de sedimentos fluviales y lavas, por su buena interconexión hidráulica que existe entre los dos acuíferos; derivado de las depositaciones multicapas procedentes de las diferentes actividades eruptivas del área.<sup>20</sup> El agua subterránea se encuentra en escurrimiento y esta almacenada en los materiales que conforman los acuíferos de la cuenca que fluyen hacia una gargantea ubicada a la altura de la población el Buen Pastor (salida de la cuenca hidrográfica).

- **Caracterización del acuífero del relleno volcánico**

Constituido por potentes depósitos de piroclastos pomáceos del cuaternario cubren un área de 50 km<sup>2</sup> aproximadamente en una proporción del 75% del área total de la cuenca, su espesor varía desde pocos metros hasta 200m. aproximadamente particularmente en la zona central y norte de la cuenca tiene intercalaciones de paleosuelos poco potentes (0.5 a 1 m.) como se observa en la carretera del Atlántico hacia la población del Buen Pastor.

Por medio de los perfiles geológicos se obtuvo el volumen ocupado por los piroclastos pomáceos siendo de 3km<sup>3</sup> aproximadamente con una potencia de 60m. y el volumen en los piroclastos saturados es de 1.5 km<sup>3</sup> siendo su espesor de 30m. Se caracterizan por tener una permeabilidad primaria, baja, debido a la heterogeneidad y granulometría variada de los materiales que constituyen el relleno volcánico.

- **Caracterización del acuífero sedimentos fluviales con lavas**

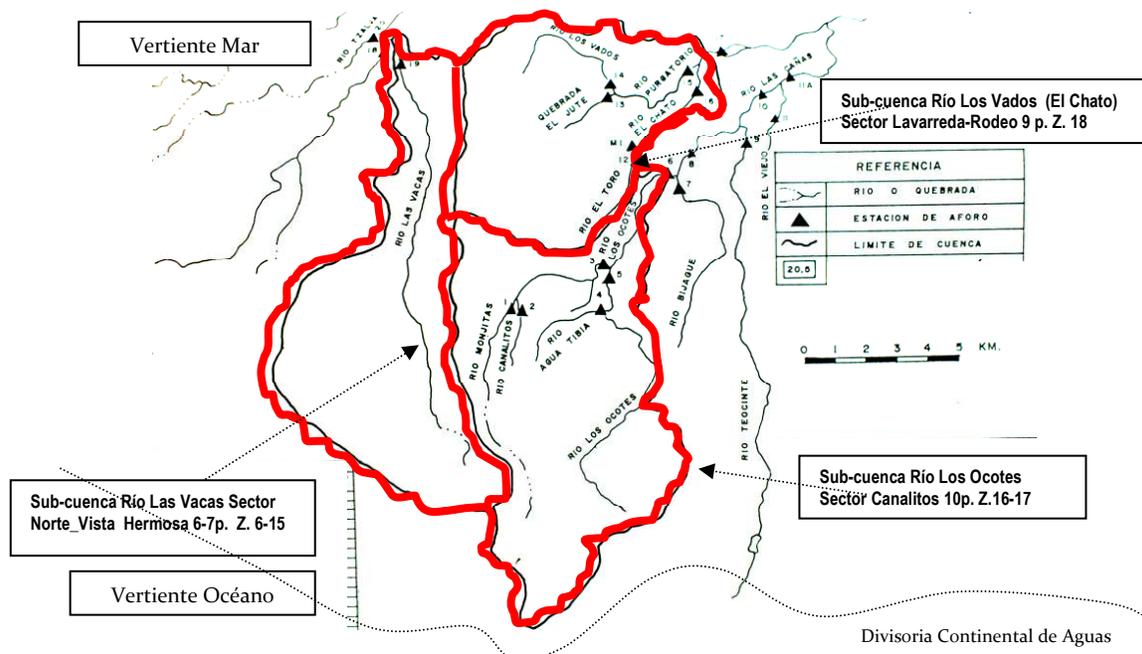
Constituido principalmente por lavas andesíticas, riolitas y sedimentos fluviales del terciario. Los afloramientos de lavas se identifican al Este y Sur de la cuenca Los Ocotes, la permeabilidad de las lavas es secundaria y alcanza valores altos según los datos obtenidos en la prueba de bombeo realizada en el pozo de investigación El Jagüey. El grado de fracturación de las lavas en la zona Norte es alto y parece tener una buena comunicación entre sí. La profundidad de las lavas no les fue posible establecerla, a pesar de que las perforaciones de investigación alcanzaron profundidades de hasta 365.8 m. (1200 pies).

### 4.2.2 Sub-cuenca del río Los Vados (El Chato)

UTM Y: 1622N – 1628 N y X: 772E – 780E. Las elevaciones son: máxima 1690, media 1438.17 y mínima 1100 msnm, de la cuenca. La subcuenca tiene un área aproximada de 45 km<sup>2</sup>, su salida fluye hacia la población de El Chato.

<sup>20</sup> CKC Chuo Kaihatsu Corporation. Ingenieros consultores. *Estudio Hidrogeológico en el Valle de la Ciudad de Guatemala*. Proyecto Emergencia I. Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala. EMPAGUA Tomo II. Pp. 168.

Fisiográficamente esta cuenca presenta patrón de drenaje tipo sub-dentrítico, controlado particularmente por el sistema de fallas preferentemente N-S y E-W. Hidrogeológicamente se constituye de tres acuíferos con buena conexión hidráulica entre sí, siendo el acuífero de relleno volcánico, de sedimentos fluviales con lavas y calizas.



**Fig. 9** Cuenca río las Vacas, identificación de sus Sub-cuencas. Río Los Vados y río Los Ocotes y sectores de estudio Norte, Vista Hermosa, Lavarreda-Rodeo, Canalitos.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation, 1995.  
Editado por: Morales S. Jacqueline. (octubre 2012).

#### 4.2.3 Sub-cuenca del río Las Vacas

UTM Y: 1612N – 1628 N y X: 766E – 773E. Las elevaciones son máxima 1900, media 1559.09 y mínima 1900 msnm, de la cuenca. Cubre un área aproximada de 57 km<sup>2</sup>, se almacena en los acuíferos de la cuenca y esta en escurrimiento que fluye hacia la confluencia de los ríos Las Vacas con el río Chinautla. Fisiográficamente presenta un patrón de drenaje tipo paralelo, controlado por la falla ubicada en ese sector con orientación N-S. Hidrogeológicamente se constituye de tres acuíferos con buena conexión hidráulica entre sí, siendo el acuífero de relleno volcánico, de sedimentos fluviales con lavas y calizas.

El régimen de temperatura que se observa está influido fundamentalmente por la altitud en relación con el mar, siendo aproximadamente 18.7 °C, la evapotranspiración real (E<sub>tr</sub>) para cada cuenca, oscila entre un rango de 400 a 650 mm/año. Para la evaluación de los corrientes superficiales de las cuencas (QES) Kaihatsu seleccionó 21 puntos de aforo, para determinar el flujo base, pero no fue representativa debido a que eran receptores de aguas servidas. La infiltración (I<sub>c</sub>) en las cuencas se estimaron como un porcentaje de la precipitación siendo aproximadamente 270, 200, 80 mm/año, como corresponden a cada subcuenca. El balance hídrico fue evaluado a través del esquema general del balance hídrico de aguas  $P - E_{tr} - QES = I_c = RN$

### 4.3 EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

#### 4.3.1 ESQUEMA CONCEPTUAL DEL BALANCE HIDROLÓGICO DE LAS SUB-CUENCAS

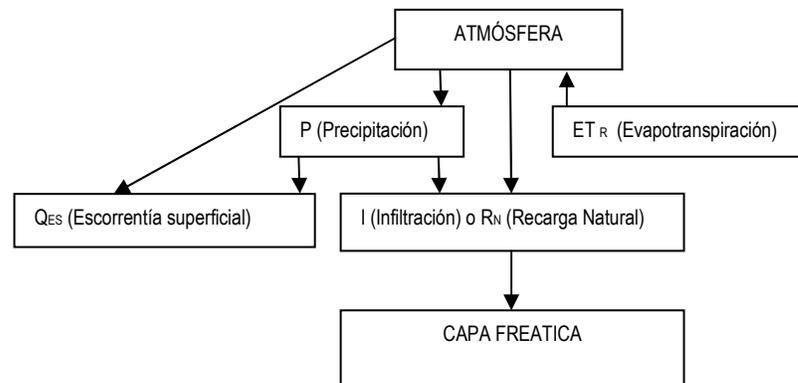


Fig. 10 Esquema conceptual del balance hídrico.

Fuente: Modelo de simulación del balance hídrico en suelos con freática poco profunda.

Elaboración propia: Morales S. Jacqueline. (noviembre 2012)

#### 4.3.2 Ecuación básica de balance hídrico: Según Ckc Chuo Kaihatsu Corporation

$$P - E_{tr} - Q_{ES} = \text{Recarga} = \text{Infiltración}$$

$$P - E_{tr} - Q_{ES} = I_c = R_N$$

Donde:

P= Precipitación en millones de m<sup>3</sup> al año

E<sub>tr</sub> = Evapotranspiración real en Mm<sup>3</sup> al año

Q<sub>ES</sub> = Esguerrimiento superficial en Mm<sup>3</sup> al año

I<sub>c</sub> = Infiltración eficaz en mm<sup>3</sup>/año (Recarga Natural, R<sub>N</sub>)

#### 4.3.3 RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN por sub-cuenca

Sub-cuenca:	Ecuaciones Valor de Infiltración media esperado	Valor de elevación media (curva hipsométrica)	Precipitación media anual (método de isoyetas)	Infiltración media esperada calculada % (puede variar del 15-25% de la precipitación)	Ecuación Cálculo de la Infiltración	Infiltración I <sub>c</sub>	Área sub-cuenca	Caudal
Los Ocotes	$I = 0.011 * H + 3.6$	1,571 msnm	1,287 mm/año	20.88 %	$IC = (i / 100) * P$	270 mm/año	67 km <sup>2</sup>	18 Mm <sup>3</sup> /año
Los Vados	$I = 0.011 * H + 3.6$	1,438 msnm	1,042 mm/año	4.317 %	$IC = (i / 100) * P$	200 mm/año	45 km <sup>2</sup>	9 Mm <sup>3</sup> /año
Las Vacas	$I = 0.086 * H - 128$	1559.09 msnm	1,295 mm/año	6.08 %	$IC = (i / 100) * P$	80 mm/año	57 km <sup>2</sup>	4.6 Mm <sup>3</sup> /año

Cuadro 2. Recopilación de cálculos y resultados de Infiltración estimada para cada Sub-cuenca

Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995). Infiltración pp. 128 - 137.

Elaboración de cuadro síntesis: Morales S. Jacqueline. (Octubre 2012).

#### 4.3.4 RESUMEN BALANCES HIDRICOS para la sub-cuencas

Sub-cuenca	Valor de elevación media (curva hipsométrica)	Precipitación media anual (método de isoyetas) P	Volumen (método de isoyetas)	Evapotranspiración real ETr*	Escurrimiento Superficial Q <sub>es</sub> (evaluado según la ecuación de balance hídrico por falta de registros)	Infiltración I <sub>c</sub>	Área sub-cuenca
Los Ocotes	1,571 msnm	86.23 Mm <sup>3</sup> /año	86.3 Mm <sup>3</sup> /año	650 Mm <sup>3</sup> /año,	24.59 Mm <sup>3</sup> /año	18 Mm <sup>3</sup> /año	67 km <sup>2</sup>
Los Vados	1,438 msnm	46.89 Mm <sup>3</sup> /año	45.72 Mm <sup>3</sup> /año	650 Mm <sup>3</sup> /año,	8.64 Mm <sup>3</sup> /año	9 Mm <sup>3</sup> /año	45 km <sup>2</sup>
Las Vacas	1,559 msnm	73.82 Mm <sup>3</sup> /año	73.27 Mm <sup>3</sup> /año	500 Mm <sup>3</sup> /año,	40.76 Mm <sup>3</sup> /año	4.56 Mm <sup>3</sup> /año	57 km <sup>2</sup>

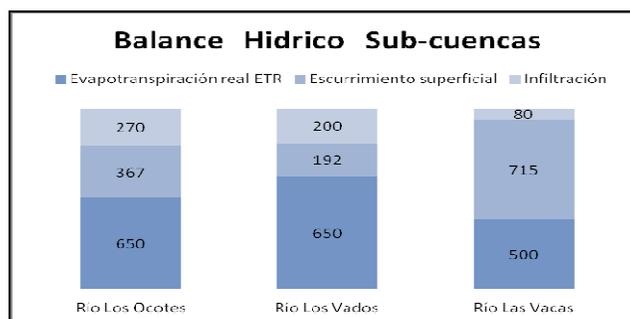
\*La precipitación corresponde a un periodo de registro de 20 años (1970-1989).

\*\*Corresponde únicamente al escurrimiento superficial, no incluye el valor de escurrimiento subterráneo o flujo base, toma en consideración cobertura vegetal, pendientes, baja densidad poblacional en la cuenca y no presenta gran desarrollo urbanístico por el momento variará en las siguientes décadas debido a la impermeabilización de las zonas de recarga y retención de humedad como consecuencia del desarrollo urbano.

**Cuadro 3.** Cuadro resumen del balance hídrico.

Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995). Infiltración pp. 128 - 137.

Síntesis: Morales S. Jacqueline. (Noviembre 2012).



**Fig. 11** Balance hídrico de las sub-cuencas.

Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995). Infiltración pp. 128 - 137.

Elaboración propia: Morales S. Jacqueline. (Noviembre 2012).

#### 4.4 INFORMACIÓN DISPONIBLE DEL SISTEMA DE POZOS

La coordinación, planificación, manejo, supervisión y administración de los recursos nacionales de agua, estuvo a cargo de la Secretaría de Recursos Hídricos (SR), creada en abril de 1992. A través de acuerdos nacionales y con organizaciones internacionales, esta Secretaría, promovió los programas de abastecimiento de agua en las comunidades rurales. Sin embargo, por inoperancia, la Secretaría desapareció en 1997.

En el Altiplano, el abastecimiento del agua rural, está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) por medio de dos oficinas: la División de Saneamiento y Medio Ambiente (DMS) encargada para poblaciones menores de 500 habitantes y la Unidad Ejecutora para Programas de Acueductos Rurales (UNEPAR) encargada para poblaciones de más de 500 habitantes.

Las municipalidades son las responsables de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas urbanos de abastecimiento de agua y alcantarillado. En la Ciudad de Guatemala se obtienen los servicios de agua potable y alcantarillado por la Compañía Privada de Agua Mariscal, quien tiene alrededor de 10 por ciento de las conexiones de agua del municipio de Guatemala y el resto de conexiones por la Empresa de Agua, EMPAGUA quien es la Empresa Municipal de Agua quien y tiene a cargo los pozos, que se están estudiando.

#### 4.4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ACTUALES DE ABASTECIMIENTO POR AGUA SUBTERRÁNEA mediante pozos, para los sectores en estudio

Los sistemas son: Lavarreda (z. 17), Rodeo (z. 16), Vista Hermosa (z.15), Canalitos (z. 06) y Norte (z. 18) proyecto Emergencia I de EMPAGUA.

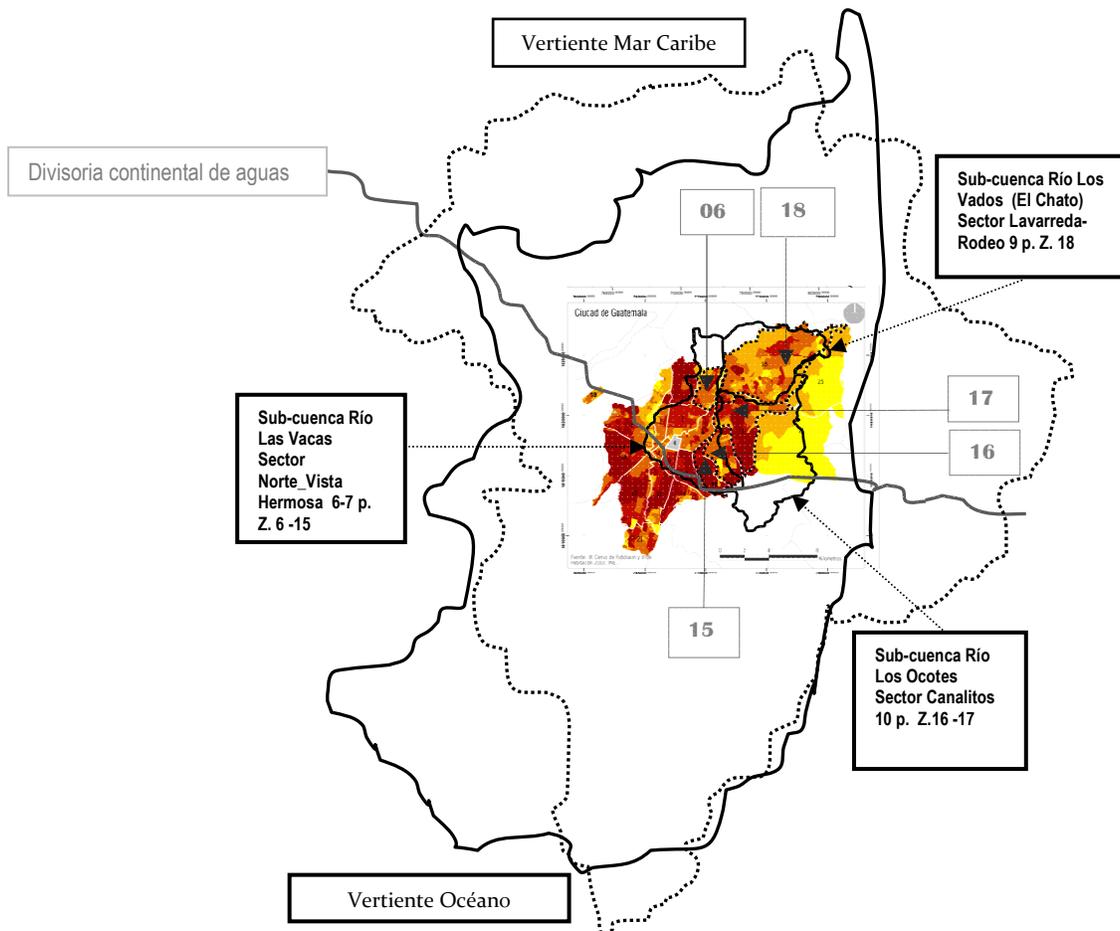


Fig. 12 Localización de las zonas de estudio, dentro de la ciudad de Guatemala,

Superposición aproximada de la cuenca Norte, en el área de estudio.

Fuente: Pagina consultada [http://infocuidad.muniquate.com/Site/01\\_estratos\\_sociales.html](http://infocuidad.muniquate.com/Site/01_estratos_sociales.html) en fecha 04 de febrero 2012.

Editado por: Morales S. Jacqueline. (febrero 2012)

La decisión sobre la profundidad de los pozos de explotación fue basada a los perfiles geológicos, (columnas litológicas) obtenidos de los registros de los pozos de investigación construidos dentro del proyecto; así como de los datos de registros geológicos e hidrogelológicos de niveles estáticos estudiados según la estratigrafía de cada sistema para los pozos construidos por EMPAGUA. A continuación se presenta la información de Chuo Kaithatsu Corporation realizada en el año 1995.

#### 4.4.2 SECTOR VISTA HERMOSA

La zona de Vista Hermosa se localiza en la parte superior del río Las Vacas, allí se ubican siete pozos de explotación, de los cuales tres se localizan en la parte Norte. El diámetro interno de la tubería de revestimiento y rejillas de los pozos de explotación es de 12" para transportar un caudal óptimo de las aguas subterráneas.

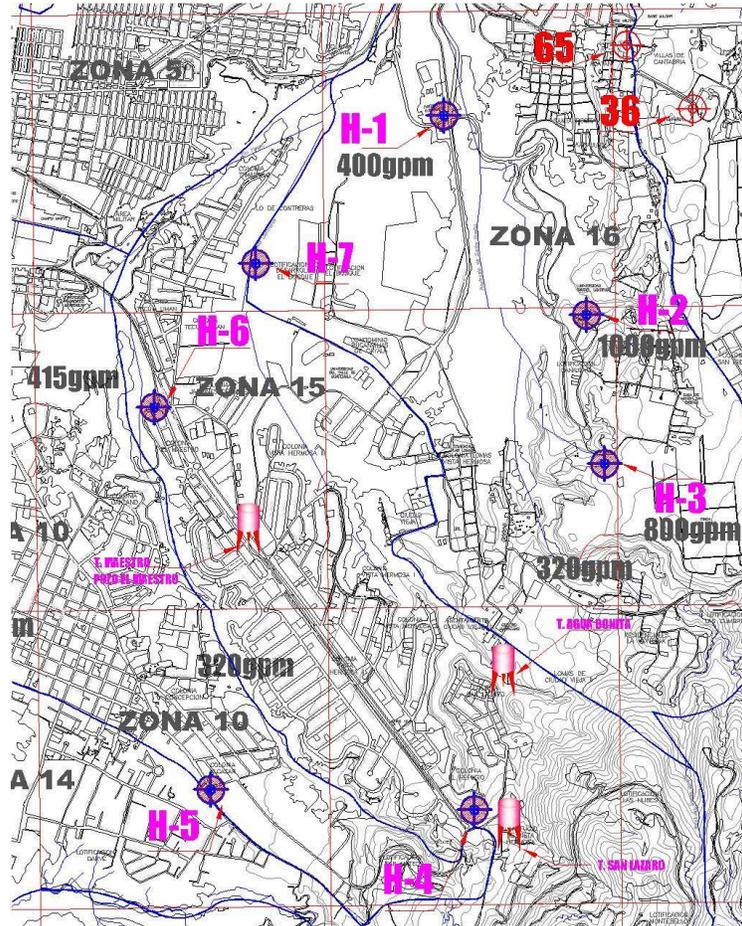


Fig. 13. Localización de pozos del sector Vista Hermosa.  
Fuente: Empresa Municipal de Agua EMPAGUA. 2007.  
Elaboración: Morales S. Jacqueline. (2009).

- **Sistema San Gaspar zona 16.** Se localiza en el área conocida como Kanajuyú en la zona 16 está compuesto por los pozos H1, H2, H3 con una producción aproximada de 138 litros por segundo distribuidos así:

H1	25 l/s	H2	63 l/s	H3	50 l/s
----	--------	----	--------	----	--------

**OPERACIÓN** La producción del pozo H1 es conducida por bombeo directo, hacia los tanques de distribución de Acatán zona 16, este sistema cuenta con su propio sistema de cloración. La producción del pozo H2 es conducida por bombeo directo, hacia un tanque de rebombeo, ubicado en el terreno donde se encuentra perforado el pozo H3 y junto a la producción del pozo H3, es rebombeado hacia el tanque San Gaspar, el cual conduce el caudal por gravedad, hacia los tanques de distribución de Acatán. En San Gaspar, disponen del sistema de rebombeo, que utilizan para la distribución en el sector alto de San Gaspar. El sistema está diseñado con un equipo que tiene motores que funcionan con velocidad variable, lo que permite bombear desde 18 litros por segundo, hasta 31 litros por segundo, según sea la demanda y la presión en la red. Así mismo este sitio se encuentra provisto de un sistema de cloración.

ÁREA DE INFLUENCIA Contemplaron que la producción de esos pozos beneficiara, al área de influencia de los tanques de Acatan, dentro de la cual están comprendidas las zonas 5 y 16 completas y parcialmente las zonas 1, 4, 9 y 1

- **Sistema zona 15.** En la zona 15 existen cuatro sectorizaciones de servicio, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:
  - **Sectorización tanque El Maestro** los caudales provenientes de los nuevos pozos H4, H5 y el pozo El Maestro, se almacenan en el tanque el Maestro, con una producción total de 54 l/s. Desde este tanque, se alimenta por bombeo las colonias, en torno al Boulevard de Vista Hermosa, desde la Villa de Vista Hermosa hasta la 2da. calle y 18 calle de la colonia El Maestro II y la 21 calle de Vista Hermosa II.
  - **Sectorización Vista Hermosa II** abastecimiento por gravedad, desde el tanque Alto del Cambray, comprende el área de Vista Hermosa II, desde la 18 calle colonia El Maestro II, hasta la 26 avenida.
  - **Tanque San Lázaro** este tanque es abastecido por el tanque alto del Cambray y alimenta por bombeo la Colonia San Lázaro, puede abastecer zonas más altas provenientes de la carretera a El Salvador.
  - **Sistema Cambray bajo** este sector sigue siendo abastecido por el tanque bajo del Cambray, para el sector de la Colonia Oakland y partes de la zona 10.
  - **Alimentación alternativo del sistema Vista Hermosa** previniendo que pueda suceder una emergencia en el abastecimiento de agua en la sectorización propuesta, proponen una alimentación alterna, colocando una tubería nueva que va de la línea de 24" de diámetro HF, que viene de la Planta Santa Luisa, a la altura de la 2da. Calle y 6ta. avenida de la zona 10, e interconectándola en la 2da. Calle y 9na. avenida del Boulevard de Vista Hermosa zona 15, esta tubería es de 8" de diámetro HF. (Fig. 11, 14).

#### 4.4.3 SECTOR CANALITOS

Existen 10 pozos de explotación en la zona de Canalitos (Fig. 15), ocho se ubican entre el pozo de investigación Hacienda Real y el Jagüey. Los dos restantes, se ubican aguas abajo del pozo de investigación El Jagüey. Es un sector considerado geológica e hidrogeológicamente, como el más favorable de la zona de canalitos ubicados en la cuenca del río Los Ocotes. El diámetro interno de la tubería de revestimiento y rejillas de los pozos de explotación es de 12" de diámetro.

- Sistema Canalitos I, este sistema está compuesto por los pozos C2; C4; C5. Se localiza al noreste de Canalitos, zona 17; en el cantón denominado El Jagüey: Su aportación al sistema existente es de 161 l/s distribuidos así:

<b>C2</b>	20 l/s	<b>C4</b>	41 l/s	<b>C5</b>	100	l/s
-----------	--------	-----------	--------	-----------	-----	-----

La totalidad de este caudal, se conduce a la fosa de succión Juana de Arco zona 18, de donde es rebombado al tanque TP4 para su distribución final. Tienen proyectado la disponibilidad futura para las zonas 17,18 y 24.

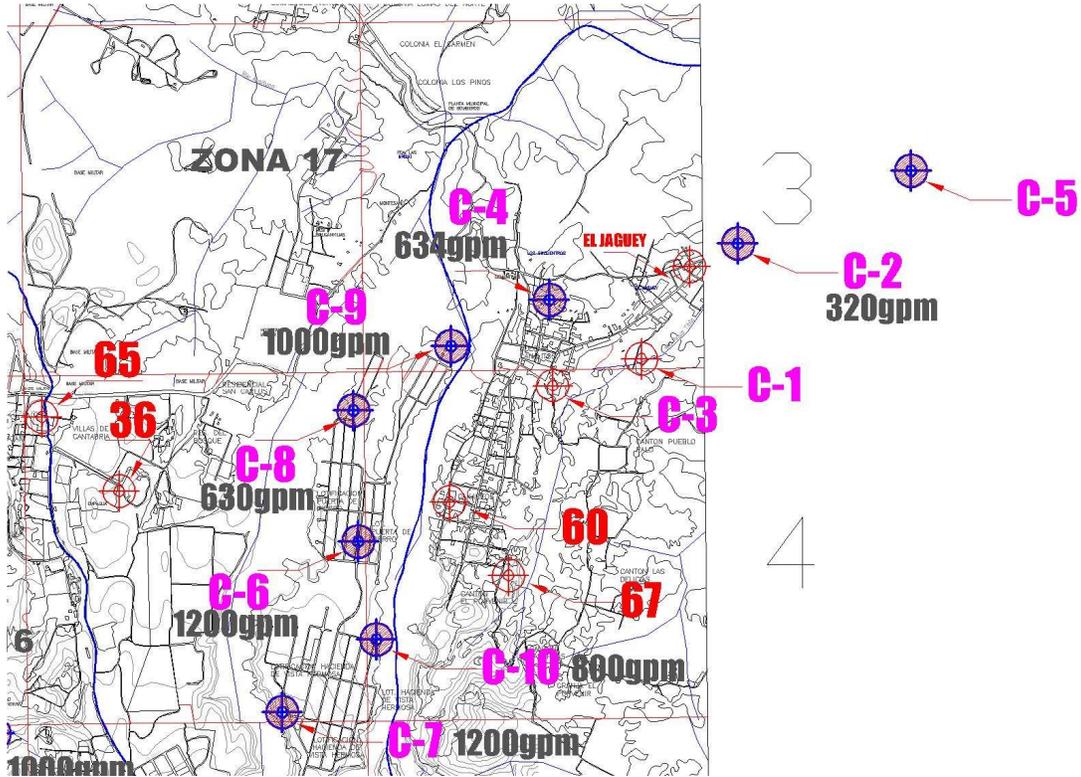


Fig. 14. Localización de pozos del sector Canalitos.  
Fuente: Empresa Municipal de Agua EMPAGUA, 2007.  
Elaboración: Morales S. Jacqueline. (2009).

- Sistema Canalitos II, este sistema se localiza al Este de la ciudad, en la zona 16; Puerta de Hierro y Hacienda Real y está compuesto por los siguientes pozos.

C6	76 l/s	C8	40 l/s	C10	51 l/s	SL 33	20 l/s
C7	76 l/s	C9	63 l/s	H7	45 l/s	34 IPM	45 l/s

FUNCIONAMIENTO: A excepción de los pozos C10 y 34 IPM, el caudal de los pozos, es conducido hacia los tanques de Acatan, para su distribución. Estos dos pozos son utilizados para abastecer los servicios de los desarrollos urbanos de Hacienda Real y Puerta de Hierro que están en proceso de urbanización.

OPERACIÓN: En el lugar donde se perforó el pozo C6, se construyó un tanque de almacenamiento Acatan de donde es conducida el agua por el sistema de bombeo, la producción de los pozos C6, C8 y C9. La producción de los pozos C7 y H7 es bombeado directamente, desde los pozos hasta el tanque Acatan utilizando la misma tubería del rebombeo del tanque C6. El total de estos caudales es clorado por el sistema instalado en el sitio del tanque C6.

Con el incremento de estos caudales son beneficiados varios sectores de la ciudad: La zona 5 completa, zona 16 completa y la zonas 1, 4, 9 y 10 parcialmente. La producción de los pozos C20 y Pozo No. 33 IPM, estuvo proyectada para abastecer el desarrollo urbano del sector conocido como Hacienda Real y Puerta de Hierro.

#### 4.4.4 SECTOR LAVARREDA - RODEO zona 18

En la zona del Rodeo existen 6 pozos pertenecientes a la subcuenca del Río Los Vados, geológicamente la zona está constituida por un relleno de piroclásticos, calizas negras, calizas blancas, andesitas y riolitas. Sin embargo el acuífero es favorable. El diámetro interno de la tubería de revestimiento y rejillas de los pozos de explotación es de 12", considerando la misma razón de los pozos de explotación en otras zonas. La zona de Lavarreda, se localiza entre el límite de las sub-cuencas del río Las Vacas y el río Los Vados, constituida mayormente por calizas blancas. Se localizan tres pozos de explotación. El nivel estático del acuífero es muy bajo (1250 msnm) sin embargo los caudales específicos son altos (5.61 a 14.74 l/s/m). El sector en evaluación comprende las colonias Alamedas, Paraisos, San Rafael, Colonia Kennedy y asentamientos que existen dentro del área.

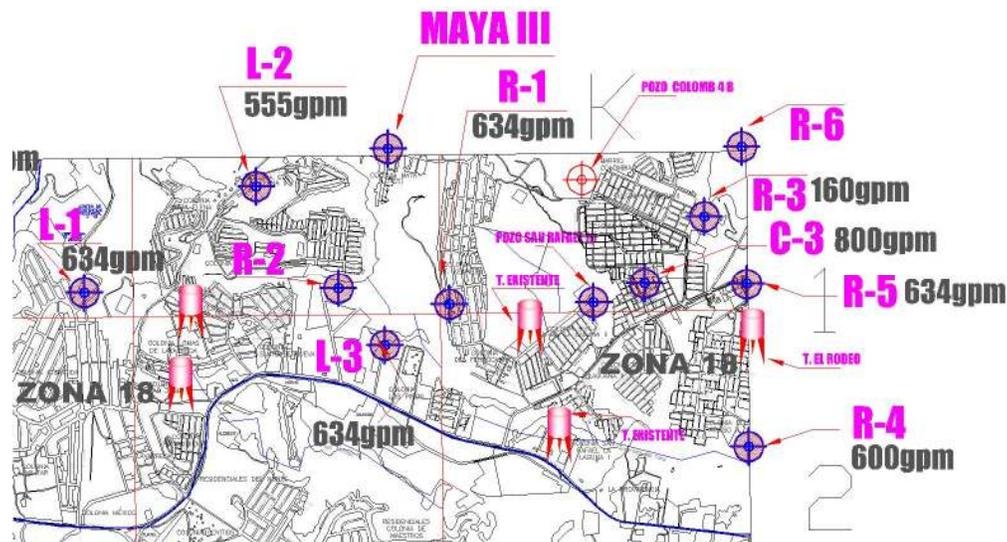


Fig. 15. Localización de pozos del sector Lavarreda-Rodeo.  
Fuente: Empresa Municipal de Agua EMPAGUA, 2007.  
Elaboración: Morales S. Jacqueline. (2009).

Los caudales provenientes de los pozos Emergencia I, mejoran el servicio en la zona de estudio de acuerdo con las siguientes propuestas:

- Sistema El Rodeo, este sistema está integrado por los siguientes pozos:

R3	10 l/s	R4	38l/s	R5	40l/s
----	--------	----	-------	----	-------

Con una producción de 88 l/s. El cual conduce hacia la fosa de almacenamiento, conocida como tanque El Rodeo, la cual beneficia a las colonias: Colonia Alameda I, Colonia Paraíso I, Colonia Paraíso II, asentamientos circundantes.

- Sistema Lavarreda, este sistema está integrado por los siguientes pozos:

C3	50 l/s	Colombia	17l/s
----	--------	----------	-------

Con una producción de 67 l/s. Estos pozos conducen el caudal hacia la fosa de succión denominada como Barrio Colombia, beneficiando a las colonias: Alameda Norte, Alameda Dos, Alameda Tres, y asentamientos dentro del área.

- Sistema Colonia Kennedy, el caudal proveniente del pozo R-1, cuya producción es de 38 l/s permitirá sectorizar la Colonia Kennedy y las áreas aledañas. Como complemento de los sistemas Santa Elena III TP4 y las Ilusiones; los pozos L-2 de producción 40 l/s hacia la fosa de la estación de Bombeo el Limón. La cual tiene las alternativas, de rebombeo hacia el TP-4 y la distribución por gravedad, a las áreas vecinas. El caudal de los pozos L-3 es de producción 40 l/s y el pozo R-1 con una producción de 38 l/s son interconectados directamente a la red de la zona 18.
- Sistema Pozo No. 32 Maya III, se localiza en la 8ava. avenida final de la Colonia Maya zona 18, vecino al pozo Maya II. Su producción estimada es del orden de los 50 l/s y el caudal que proporciona el pozo 32 Maya II, es introducido a la red de distribución del área; y el tanque de la planta Las Ilusiones zona 18, sirve como tanque de cola y el agua que se logra almacenar, es distribuido finalmente en la zona de servicio de la citada planta, en este sitio se cuenta con su sistema de cloración, por lo que los caudales a rebombearse pueden enviarse directamente a la red de distribución.
- Sectores Independientes, sistema Concepción las Lomas Pozo R2 ubicado por la Universidad Rafael Landivar, se localiza en el paso a desnivel Rafael Landivar, frente a la colonia Campo Seco, zona 16. Su producción es de 10 l/s, el caudal es conducido por bombeo al tanque elevado de la aldea Concepción Las lomas, el cual abastece su red general de distribución, este sitio cuenta también con su sistema de cloración; sistema Ciudad Vieja Pozo C1: Se localiza en la 4ta. calle y la 8ava. avenida de la zona 10. Su producción es de 50 l/s, se interconecta a la red existente con un diámetro 8" HF en la 6ta. Avenida y 3ra calle "A" de la zona 10. Su producción contribuye a satisfacer la demanda en la red media, aunque por las características de la alta temperatura (39 °C) del agua, su puesta en operación depende de la construcción de una torre de enfriamiento, que logra reducir la temperatura del agua a un nivel aceptable.

#### 4.4.5 SECTOR NORTE

Zona ubicada en la parte Norte de la subcuenca del río Las Vacas, con dos tipos de acuíferos: uno constituido por el relleno de piroclásticos y el otro acuífero constituido por calizas. El nivel estático del acuífero en el relleno de piroclásticos, es más o menos de 1350 a 1380 msnm (100 m abajo de la superficie) sin embargo el caudal específico de los pozos generalmente no es bueno (aproximadamente 0.1 l/s/m). El nivel estático del acuífero en las calizas, se encuentra más abajo que el nivel estático en el relleno piroclástico (1250 msnm); sin embargo el caudal específico es muy alto (2.5-30 l/s/m). Existen 6 pozos de explotación en la zona Norte (Fig. 17), cuatro, se ubican en la parte Noreste, donde hay menos desarrollo de las aguas subterráneas. El diámetro interno es de 12".

La profundidad de los pozos de explotación en la zona, esta seleccionado con base en el nivel estático de los pozos, en la caliza (el nivel estático del pozo del proyecto 4-10 es de 1257 msnm medido en febrero, 1995).

- Sistema zona 6, este sistema se localiza en la zona 6 al Norte de la ciudad y consta de seis pozos integrados en dos sistemas, el primero lo integran los pozos.

N2	28 l/s	N4	20 l/s
----	--------	----	--------

La producción de estos pozos es conducida al tanque de rebombeo 4-4 donde contribuye a mejorar el servicio existente, y además se tiene la capacidad de bombear contra el Cerro del Carmen, en virtud de que los caudales de los pozos 4-10 y Jocotales II, se complementan con la producción de los pozos de Emergencia.

- Sistema 4-4, El otro sistema está integrado por los pozos

N1	50.47 l/s	N3	60 l/s	N5	35.02 l/s
----	-----------	----	--------	----	-----------

La producción de estos pozos es conducida al tanque TP3, lo cual beneficia a los sectores que abastece este sistema. El pozo N-6 bombea directamente a la Red.

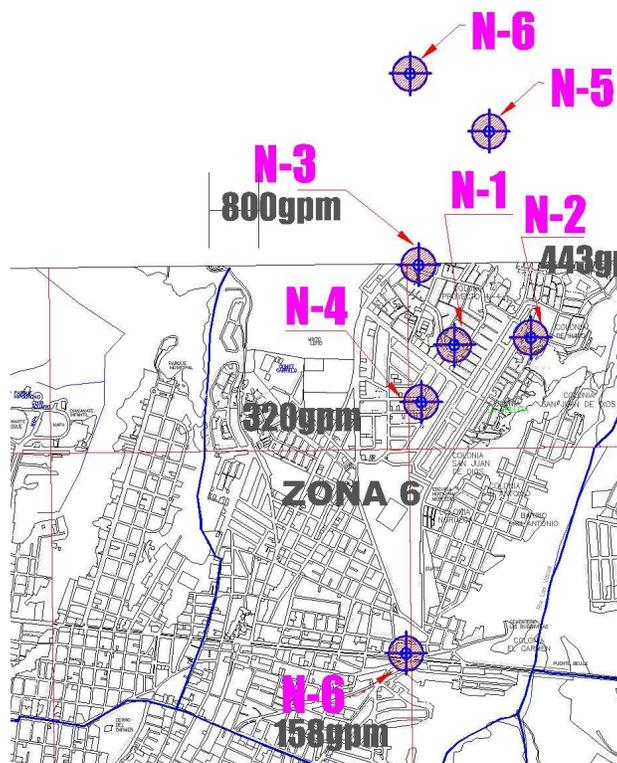


Fig. 16 Localización de pozos del sector Norte  
Fuente: Empresa Municipal de Agua EMPAGUA, 2007.  
Elaboración: Morales S. Jacqueline. (2009).

- **Detalle de la Sectorización de Distribución de caudales**, para la sectorización de la distribución de esta zona, tomaron en cuenta las producciones de las fuentes disponibles, antes de realizar el proyecto. Luego planificaron la sectorización, con el incremento de los caudales aportados por los pozos de Emergencia I. El sector analizado comprende los terrenos de la zona 06 que se extienden hacia el Norte, desde la Calle Martí, entre 11 avenida y 25 avenida. Abastecimiento actual, en este sector se pueden definir cinco sistemas diferentes de abastecimiento.
  - Una fosa de succión-almacenamiento
  - Un tanque elevado de cien metros cúbicos
  - Compra de equipo de bombeo especificado para este proyecto
  - Sistema colonia Kennedy

El uso de los caudales provenientes del pozo R1, cuya producción es de 40 litros por segundo, permitirá la sectorización de la colonia Kennedy y áreas aledañas.

## V. ANÁLISIS DEL DESCENSO DEL NIVEL FREÁTICO Y DE LA TASA DE EXTRACCIÓN EN CADA POZO

A continuación se presentan los cuadros y gráficas del análisis del comportamiento de los pozos en estudio para cada sector, se encuentra una página de evaluación para cada sector. El análisis se basó en la información contenida en los registros de EMPAGUA y fue complementado con lecturas directas de campo para verificar la situación de los pozos, con el apoyo del Ing. Rolando Aragón (Q.E.P.D.) especialista en agua subterránea. El objetivo de las visitas fue determinar las variaciones tanto en espacio como en tiempo y estimar la tasa de descenso y extracción anual del agua subterránea, para establecer la situación real del comportamiento de los pozos. Y posteriormente determinar el pozo crítico de cada sector de acuerdo con su potencial hídrico, en relación a la profundidad de diseño de cada pozo, (en este contexto se le denominó potencial hídrico, el cual se expresa como la diferencia entre el nivel dinámico del agua en el pozo y la profundidad del mismo) para conocer el límite de tiempo de su aprovechamiento.

El método utilizado para la evaluación del nivel freático fue el de sondeo eléctrico; para lo cual se tomaron lecturas de los niveles estáticos y dinámicos, en diferentes períodos cuyos registros van desde el año 2000 a 2011, estos datos fueron analizados e interpretados de acuerdo con la información recolectada en cada sector, diferenciándose según su ubicación. Con la información recopilada se elaboraron las gráficas y los cuadros, para los cuatro sectores, con el fin de ilustrar las variables del descenso de los niveles del agua en metros y la extracción del agua, expresada dimensionales de galones por minuto, para ello se presenta un cuadro en detalle que presenta el análisis de dos variables. Cabe mencionar que los cuadros fueron diseñados para ordenar la información y que fuese más legible al lector. Se incluyeron también gráficas de diferente tipo, con una sola variable o con combinación de ellas, cada una con su respectiva cota y dimensional, diseñadas buscando que se interpreten solas, es decir que brinden información del fondo de pozo y del descenso del agua, con los datos registrados, el primer análisis fue para el caso de las gráficas tituladas comportamiento de los niveles freáticos y caudal extraído.

Para el segundo análisis, se ilustran las fluctuaciones de los pozos críticos, se muestran las mismas variables de las gráficas anteriores pero se incluye la precipitación media anual para describir las fluctuaciones desde 1998 al año 2011, se presenta el cuadro respectivo para cada pozo crítico enfocado con los datos concernientes a su caracterización expresados en caudales en litros por segundo y galones por minuto, expresado también en volumen anual promedio extraído, en millones de metros cúbicos, para mejor apreciación. Se encuentran los resultados del estudio para las sub-cuencas; para las variaciones de espacio y de tiempo; para los pozos críticos. Por último se presentan las conclusiones y se consideran algunas recomendaciones puntuales. En el anexo, se ubican en análisis graficado: se dan a conocer las gráficas en detalle del primer análisis mencionado, se contemplan gráficas referentes al análisis de nivel dinámico, posteriormente se encuentra un tercer análisis de nivel estático, y por último un cuarto análisis de la producción acumulada del agua en los pozos, información realizada para los cuatro sectores estudiados. Finalmente se encuentran los perfiles estratigráficos de los pozos y las sub-cuencas.

5.1 SECTOR LAVARREDA-RODEO

Cuadros 4. Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal diario extraído de los pozos en estudio

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS	SECTOR LAVARREDA-RODEO	NIVEL DINÁMICO Referido al brocal del pozo (m)									
		BROCAL Elevación (msnm)									
		1469.05	1547.33	1505.39	1501.92	1549.07	1479.22	1468.89	1475.73	1500.02	
		PROFUNDIDAD DEL POZO (m)									
		421	399	400	415	387	411	396	396	396	
ANÁLISIS DE LA TASA EXTRAÍDA	AÑOS DE MONITOREO	DESCENSO NIVEL FREÁTICO DE POZOS (m)									
		L1	L2	L3	R1	R2	R3	R4	R5	MAYA III	
		2000	180.00	297.80	256.90	253.00	114.00	228.60	215.00	230.00	250.00
		2002	192.00	309.00	272.00	271.00	145.00	257.85	253.00	250.00	272.60
		2003	242.30	317.33	280.39	287.90	154.07	271.22	259.20	262.85	280.00
		2004	255.48	342.00	345.60	299.40	119.46	278.00			298.96
		2005	257.00		309.83			278.00			304.00
		2006	262.34	355.00	310.80	307.50	155.00	290.70	273.85	279.00	300.00
		2007		361.85	317.80						
		2009	281.00		331.30		216.81	318.05		307.52	310.87
		2010	280.71	363.59			224.10		281.32		312.75
		2011	288.50	357.00							308.10
		Descenso a la fecha (m)	108.50	59.20	74.40	54.50	110.10	89.45	66.32	77.52	58.10
		Registro de datos (años)	11	11	9	6	10	9	9	9	11
Tasa promedio anual de descenso (m)	10	5	8	9	11	10	7	9	5		
Potencial hídrico estimado (m)	133	42	69	108	163	93	115	88	88		
Vida útil restante del pozo (años)	13.43	7.80	8.31	11.83	14.80	9.35	15.56	10.27	16.64		
Finalización potencial hídrico pozo (año)	2024	2019	2017	2018	2025	2018	2026	2019	2028		
Cota estimada de descenso al año 2012	298.36	362.38	339.57	316.58	235.11	327.99	288.69	316.13	313.38		
ANÁLISIS DE LA TASA EXTRAÍDA	AÑOS DE MONITOREO	CAUDAL DIARIO EXTRAÍDO de cada pozo (l/s)									
		L1	L2	L3	R1	R2	R3	R4	R5	MAYA III	
		2002	34	20	5	27	4				47
		2003	21	22	17	18	4				40
		2004	17	22	21	19	3	6	25	28	29
		2005	11	26	18	18	4	7	24	27	22
		2006	10	25	18	17	3	6	19	26	23
		2007	4	24	11	17	3	7	17	26	21
		2008	11	14	6	9	2	4	8	15	11
		2009	7	23	7	5	3	7	25	14	22
		2011	21	22	17	18	4				40
		2012	17	23	12	18	8	7	26	27	23
		Volumen medio anual (Mm <sup>3</sup> /año)	0.48	0.70	0.42	0.52	0.12	0.20	0.65	0.73	0.88
		Caudal medio (gal/min)	245	353	211	265	61	101	329	372	445
Registro de datos a la fecha (años)	10	10	10	10	10	7	7	7	10		

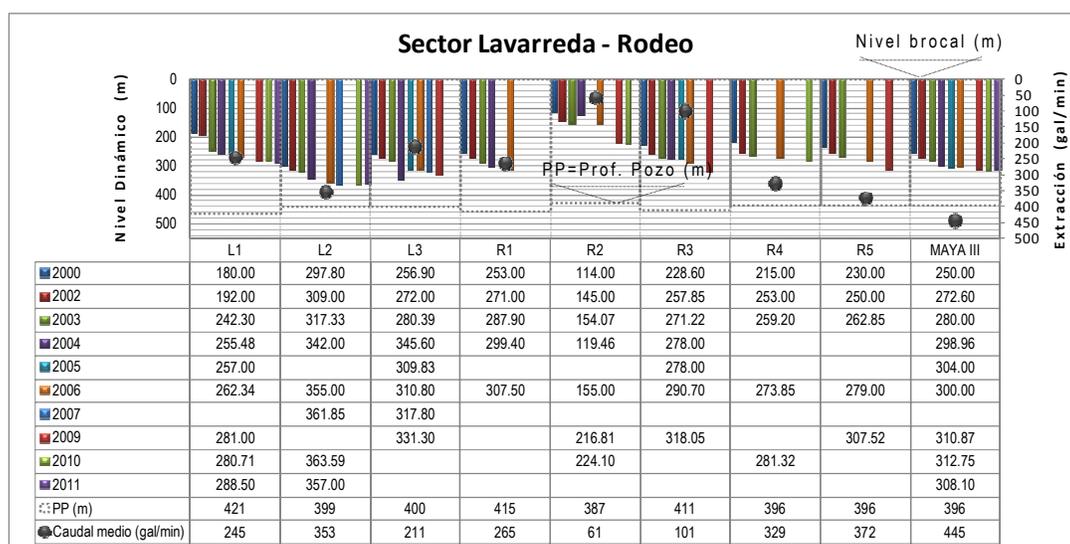


Fig. 17 Histograma pozos Sector Lavarreda-Rodeo.

Ambas gráficas son elaboración propia: Morales S. Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

NOTA: En el anexo se contemplan gráficas, con mayor detalle.

5.2 SECTOR VISTA HERMOSA

Cuadros 5. Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal diario extraído de los pozos en estudio

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS	SECTOR VISTA HERMOSA	NIVEL DINÁMICO Referido al brocal del pozo (m)							
		BROCAL Elevación (msnm)							
		1456.25	1525.08	1565.37	1526.31	1498.82	1595.02	1556.71	
	PROFUNDIDAD DEL POZO (m)								
	396	369	353	378	341	387	366		
	AÑOS DE MONITOREO	DESCENSO NIVEL FREATICO DE POZOS (m)							
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	
		2000	64.29	69.70	107.50	78.71	52.40	107.50	120.00
		2002	66.10	139.00	178.00	125.00	95.00	178.00	170.70
		2003	66.48	95.08	122.37	81.59	62.82	122.37	181.71
2004		60.75			81.00			184.60	
2005		63.80			84.40			191.87	
2006		68.00	185.00	222.40	85.50	75.00	161.40	215.60	
2007		148.02	185.74	229.27	168.10	127.07		220.70	
2009		156.63	199.16	244.50	143.82	116.09		259.59	
2010		156.13	206.71	249.25	192.00			237.98	
2011			188.80						
Descenso a la fecha (m)		91.84	137.01	141.75	113.29	63.69	53.90	117.98	
Registro de datos (años)	10	11	10	10	9	6	10		
Tasa promedio anual de descenso (m)	9	12	14	11	7	9	12		
Potencial hídrico estimado (m)	240	180	104	186	225	226	128		
Vida útil restante del pozo (años)	26.12	14.47	7.32	16.42	31.78	25.11	10.85		
Finalización potencial hídrico pozo (año)	2036	2025	2017	2026	2041	2031	2021		
Cota estimada de descenso al año 2012	165.31	201.26	263.43	203.33	123.17	170.38	249.78		
ANÁLISIS DE LA TASA EXTRAÍDA	AÑOS DE MONITOREO	CAUDAL DIARIO EXTRAÍDO de cada pozo (l/s)							
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	
	2002	6	16	22	19	19	1	31	
	2003	3		40	15	15		22	
	2004	9	24	20	13	17		23	
	2005	10	19	20	11	20	2	19	
	2006	9	15	15	16	20		24	
	2007	9	18	19	11	18		15	
	2008	4	12	11	9	10		11	
	2009	10	19	16	15	15		18	
	2011	3		40	15	15		22	
	2012	14	20	20	11	18	SUSPENDIDO	15	
	Volumen medio anual (Mm³/año)	0.24	0.56	0.70	0.43	0.53		0.63	
Caudal medio (gal/min)	123	286	356	216	267		320		
Registro de datos a la fecha (años)	10	8	10	10	10		10		

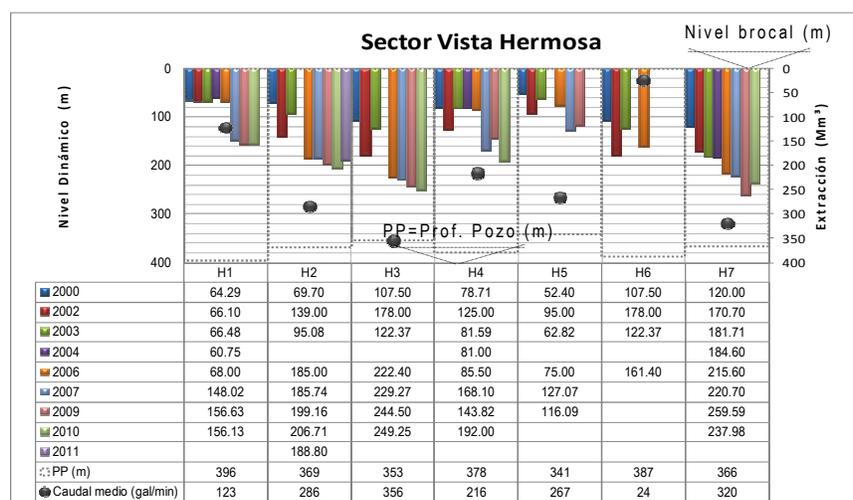


Fig. 18 Histograma pozos del sector Vista Hermosa.

Ambas gráficas son elaboración propia: Morales S. Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

NOTA: En el anexo se contemplan gráficas, con mayor detalle.

### 5.3 SECTOR CANALITOS

Cuadros 6. Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal diario extraído de los pozos en estudio

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS	SECTOR CANALITOS	NIVEL DINÁMICO Referido al brocal del pozo (m)									
		BROCAL Elevación (msnm)									
		1499.35	1449.41	1484.88	1504.93	1353.90	1434.76	1453.06	1430.95	1519.37	1603.88
		PROFUNDIDAD DEL POZO (m)									
	519	300	396	530	351	351	396	345	317	370	
	DESCENSO NIVEL FREÁTICO DE POZOS (m)										
	AÑOS DE MONITOREO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	2000	57.00	94.65	231.90	70.90	1.00	99.63	111.50	93.33	82.90	120.10
	2002	59.15	95.73	265.13	73.00	1.83	135.00	158.80	141.14	98.00	133.90
	2003	60.60	98.00	284.88	75.00	1.90	154.76	176.88	170.95	130.98	158.88
2004	60.70	100.00		80.00	1.80				141.64		
2005							188.50	164.80	154.00		
2006	70.00	102.00	290.20	100.00	2.00	165.00	194.60	172.00	160.40	188.44	
2007	84.70	103.30		SELLADO	5.20	188.40	TAPO SONDA	181.01	171.20	TAPO SONDA	
2009		OBSER. SIN EQ.			OBSER. SIN EQ.	199.31		184.43			
2010	167.00		296.92			204.00					
2011			301.00			205.40		226.40	187.50		
Descenso a la fecha (m)	110.00	8.65	69.10	29.10	4.20	105.77	83.10	133.07	104.60	68.34	
Registro de datos (años)	10	7	11	6	7	11	6	11	7	6	
Tasa promedio anual de descenso (m)	11	1	6	5	1	10	14	12	15	11	
Potencial hídrico estimado (m)	352	197	95	430	346	146	201	119	130	182	
Vida útil restante del pozo (años)	32.00	159.18	15.12	88.66	576.33	15.14	14.54	9.80	8.67	15.94	
Finalización potencial hídrico pozo (año)	2042	2166	2026	2095	2583	2026	2021	2021	2020	2022	
Cota estimada de descenso al año 2012	178.00	104.54	307.28	104.85	5.80	215.02	208.45	238.50	202.44	199.83	
ANÁLISIS DE LA TASA EXTRAÍDA	CAUDAL DIARIO EXTRAÍDO de cada pozo (l/s)										
	AÑOS DE MONITOREO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	2002			26			139	29			
	2003			26			101	47			
	2004			28			44	35	16	27	40
	2005			27			46	23	18	24	34
	2006			27			44		15	27	24
	2007	20		32			40	20	6	23	19
	2008	22		20	SELLADO		17	13	11	11	14
	2009	34	OBSER. SIN EQ.	34		OBSER. SIN EQ.	48	24	18	25	22
2011			26			101	47				
2012	36		41			44	28	20	25	25	
Volumen medio anual (Mm <sup>3</sup> /año)	0.88		0.91			1.97	0.93	0.47	0.73	0.80	
Caudal medio (gal/min)	448		459			998	473	238	370	407	
Registro de datos a la fecha (años)	4		10			10	9	7	7	7	

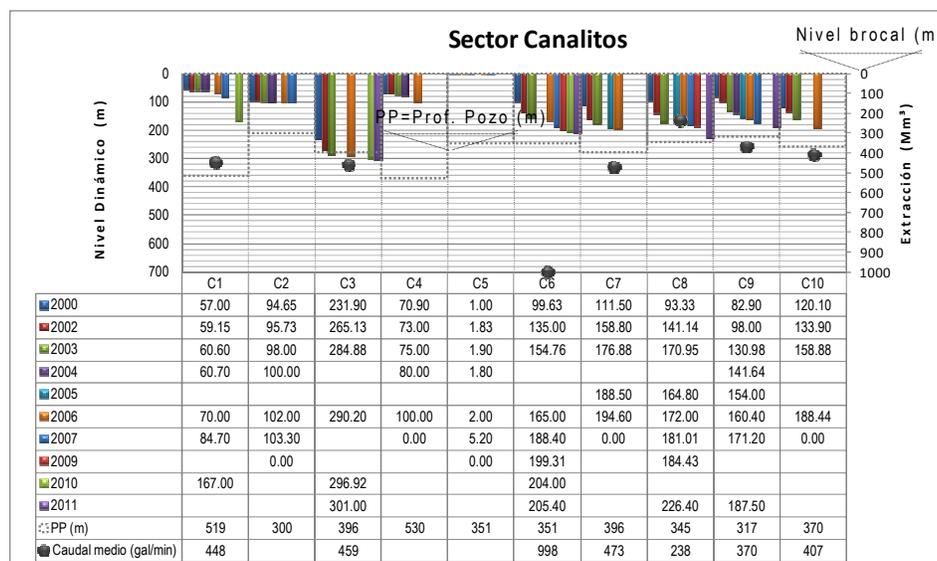


Fig. 19. Histograma pozos del sector Canalitos

Ambas gráficas son elaboración propia: Morales S. Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

NOTA: En el anexo se contemplan gráficas, con mayor detalle.

### 5.4 SECTOR NORTE

Cuadros 7. Comportamiento de variación de niveles freáticos y caudal extraído diario de los pozos en estudio

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS	SECTOR NORTE	NIVEL DINÁMICO Referido al brocal del pozo (m)						
		BROCAL Elevación (msnm)						
		1451.20	1456.41	1460.53	1451.79	1447.37	1434.76	
	PROFUNDIDAD DEL POZO (m)							
		396	366	396	351	427	451	
	AÑOS DE MONITOREO	DESCENSO NIVEL FREATICO DE POZOS (m)						
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	
		2000	194.80	205.00	208.10	200.00	198.00	118.00
		2002	215.00	229.50	230.90	229.95	222.30	130.00
		2003	235.40	241.46	246.00	211.79	229.98	134.76
2004				263.52	279.60	242.03		
2005		248.45	257.95	263.40	251.30			
2006		252.37	260.65	280.00	260.00	255.00	135.00	
2007				283.58		272.30	158.00	
2009		272.80		289.95		291.00	168.00	
2010		276.25	255.55	290.72	247.43	271.90	198.00	
2011		273.30	290.58	276.00	267.50	267.30		
Descenso a la fecha (m)		78.50	85.58	67.90	67.50	69.30	80.00	
Registro de datos (años)	11	11	11	11	11	10		
Tasa promedio anual de descenso (m)	7	8	6	6	6	8		
Potencial hidrico estimado (m)	123	75	120	84	160	253		
Vida útil restante del pozo (años)	17.19	9.69	19.44	13.61	25.35	31.63		
Finalización potencial hidrico pozo (año)	2028	2021	2030	2025	2036	2043		
Cota estimada de descenso al año 2012	280.44	298.36	282.17	273.64	273.60	206.00		
ANÁLISIS DE LA TASA EXTRAIDA	CAUDAL DIARIO EXTRAIDO de cada pozo (l/s)							
	AÑOS DE MONITOREO	N1	N2	N3	N4	N5	N6	
	2002	50	21	41	12	21	3	
	2003	41	19	39	15	31	2	
	2004	48	17	25	15	30	3	
	2005	44	12	27	11	31	2	
	2006	39	5	25	18	29	2	
	2007	38	7	21	17	29	2	
	2008	22	6	14	10	18	1	
	2009	41	10	25	15	33	1	
	2011	41	19	39	15	31	2	
	2012	48	SUSPENDIDO	27	8	30	7	
	Volumen medio anual (Mm <sup>3</sup> /año)	1.30		0.89	0.43	0.89	0.08	
Caudal medio (gal/min)	659		453	217	453	40		
Registro de datos a la fecha (años)	10		10	10	10	10		

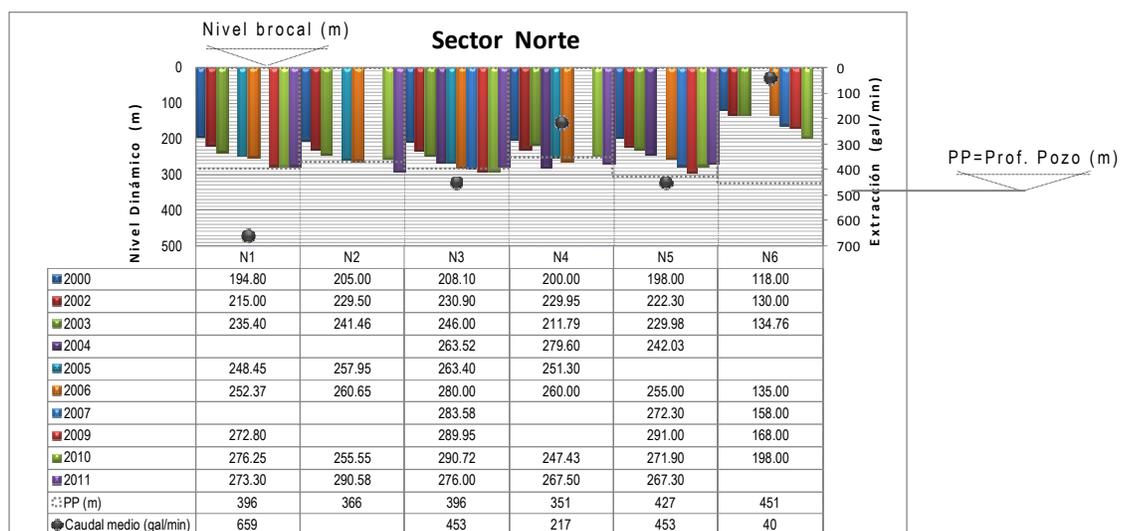


Fig. 20 Histograma de Sector Norte.

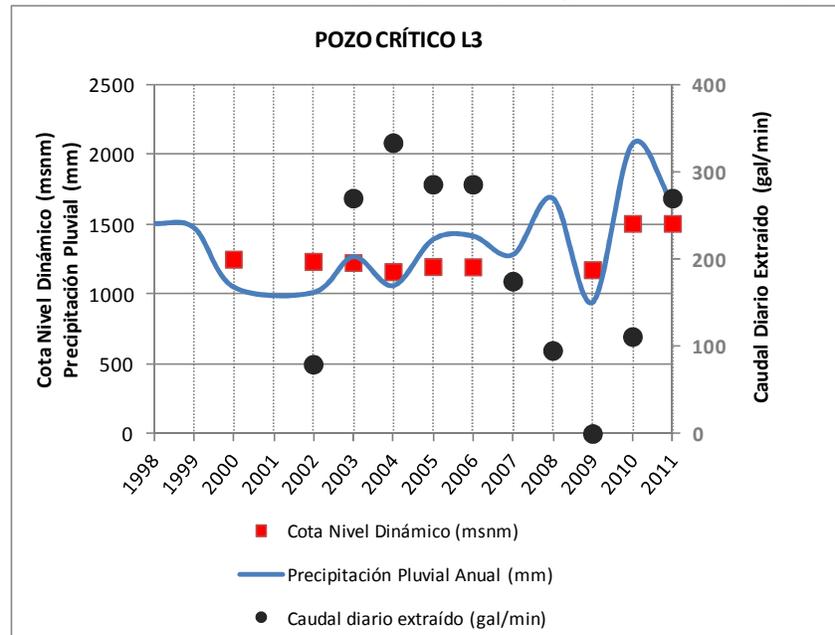
Ambas gráficas son elaboración propia: Morales S. Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

NOTA: En el anexo se contemplan gráficas, con mayor detalle.

## VI. RESULTADOS DE POZOS CRÍTICOS DE CADA SECTOR EVALUADO.

## 6.1 SECTOR LAVARREDA-RODEO

Fig. 21 Comportamiento de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído; pozo crítico L3



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

Cuadro 8. Resumen caracterización de variables pozo L3.

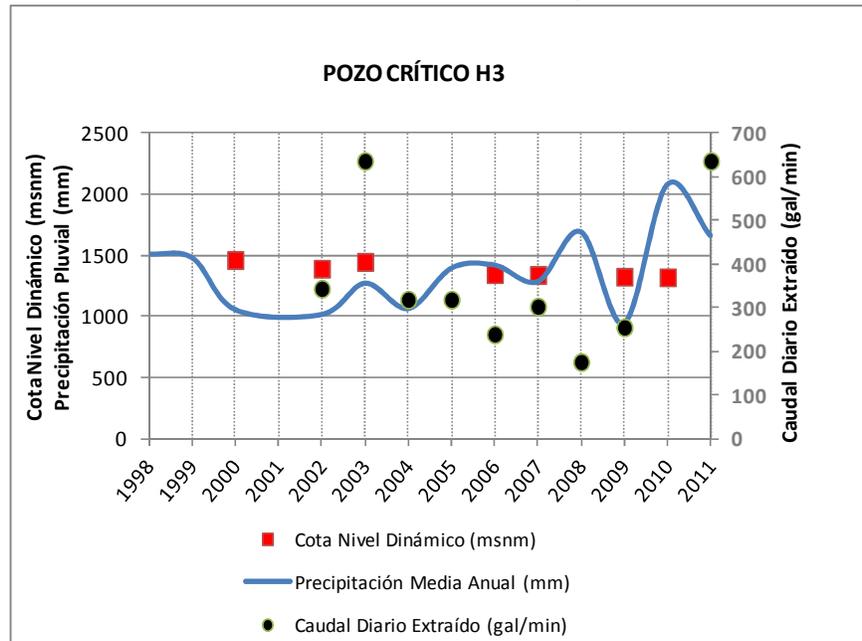
SECTOR	Registro de datos (años)	Precipitación pluvial (mm)	NIVEL DINÁMICO		CAUDAL DE EXTRACCIÓN		
			Referido al brocal del pozo (m)		Caudal diario extraído (l/s)	Caudal diario extraído (gal/min)	Volumen anual promedio extraído (Mm³)
			BROCAL Elevación (msnm)	Cota nivel dinámico (msnm)			
			1505.39				
			PROFUNDIDAD DEL POZO (m)				
			400				
<b>POZO CRÍTICO (m) L3</b>							
Lavarreda-Rodeo	1998	1508.5					
	1999	1475.3					
	2000	1049.2	256.90	1248.49			
	2002	1012.4	272.00	1233.39	5	79	0.16
	2003	1268.5	280.39	1225.00	17	270	0.54
	2004	1060.6	345.60	1159.79	21	333	0.66
	2005	1392.8	309.83	1195.56	18	286	0.57
	2006	1417.7	310.80	1194.59	18	286	0.57
	2007	1282.6	317.80		11	175	0.35
	2008	1691			6	95	0.19
	2009	939.2	331.30	1174.09		0	0.00
2010	2078.1		1505.39	7	111	0.22	
2011	1659.5		1505.39	17	270	0.54	

Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

## RESULTADOS Pozos Críticos de cada Sector evaluado.

## 6.2 SECTOR VISTA HERMOSA

Fig. 22 Comportamiento de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído; pozo crítico H3



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

Cuadro 9. Resumen caracterización de variables pozo H3.

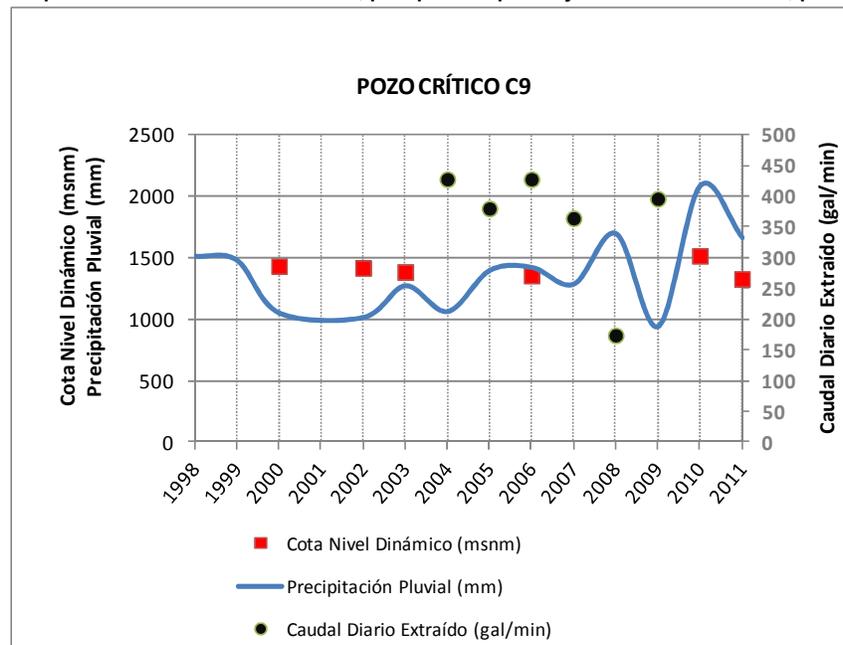
POZO CRÍTICO	Registro de datos (años)	Precipitación pluvial (mm)	NIVEL DINÁMICO		CAUDAL DE EXTRACCIÓN		
			Referido al brocal del pozo (m)		Caudal diario extraído (l/s)	Caudal diario extraído (gal/min)	Volumen anual promedio extraído (Mm³)
BROCAL elevación (msnm)		Cota nivel dinámico (msnm)	POZO CRÍTICO (m) H3				
1565.37							
PROFUNDIDAD DEL POZO							
353							
Vista Hermosa	1998	1508.5					
	1999	1475.3					
	2000	1049.2	107.50	1457.87			
	2002	1012.4	178.00	1387.37	22	343	0.68
	2003	1268.5	122.37	1443.00	40	635	1.26
	2004	1060.6			20	317	0.63
	2005	1392.8			20	317	0.63
	2006	1417.7	222.40	1342.97	15	238	0.47
	2007	1282.6	229.27	1336.10	19	302	0.60
	2008	1691			11	175	0.35
	2009	939.2	244.50	1320.87	16	254	0.50
	2010	2078.1	249.25	1316.12			
2011	1659.5			40	635	1.26	

Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

RESULTADOS Pozos Críticos de cada Sector evaluado.

6.3 SECTOR CANALITOS

Fig. 23 Comportamiento de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído; pozo crítico C9



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

Cuadro 10. Resumen caracterización de variables pozo C9.

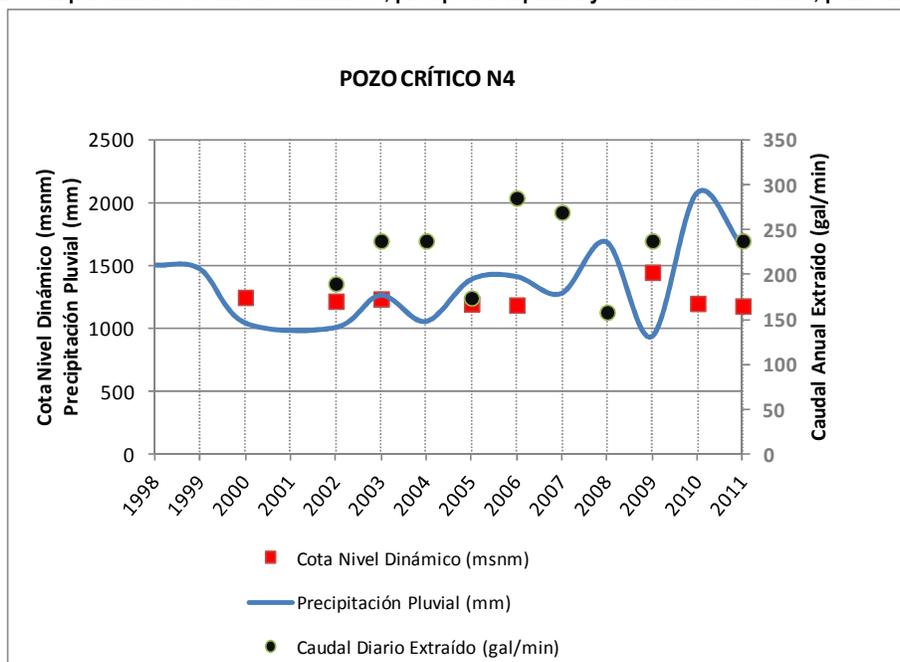
POZO CRÍTICO	Registro de datos (años)	Precipitación pluvial (mm)	NIVEL DINÁMICO		CAUDAL DE EXTRACCIÓN		
			Referido al brocal del pozo (m)		Caudal diario extraído (l/s)	Caudal diario extraído (gal/min)	Volumen anual promedio extraído (Mm³)
			BROCAL elevación (msnm)	Cota nivel dinámico (msnm)			
			1519.37				
PROFUNDIDAD DEL POZO	317	POZO CRÍTICO (m) C9					
Canalitos	1998	1508.5					
	1999	1475.3					
	2000	1049.2	82.90	1436.47			
	2002	1012.4	98.00	1421.37			
	2003	1268.5	130.98	1388.39			
	2004	1060.6	141.64		27	429	0.85
	2005	1392.8	154.00		24	381	0.76
	2006	1417.7	160.40	1358.97	27	429	0.85
	2007	1282.6	171.20		23	365	0.73
	2008	1691			11	175	0.35
	2009	939.2			25	397	0.79
	2010	2078.1		1519.37			
2011	1659.5	187.50	1331.87				

Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

## RESULTADOS Pozos Críticos de cada Sector evaluado.

## 6.4 SECTOR NORTE

Fig. 24 Comportamiento de niveles dinámicos, precipitación pluvial y caudal medio extraído; pozo crítico N4



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

Cuadro 11. Resumen caracterización de variables pozo N4.

POZO CRÍTICO	Registro de datos (años)	Precipitación pluvial (mm)	NIVEL DINÁMICO		CAUDAL DE EXTRACCIÓN		
			Referido al brocal del pozo (m)		Caudal diario extraído (l/s)	Caudal diario extraído (gal/min)	Volumen anual promedio extraído (Mm <sup>3</sup> )
		BROCAL elevación (msnm)	Cota nivel dinámico (msnm)				
			1451.79				
			PROFUNDIDAD DEL POZO				
			351				
<b>POZO CRÍTICO (m) N4</b>							
Norte	1998	1508.5					
	1999	1475.3					
	2000	1049.2	200.00	1251.79			
	2002	1012.4	229.95	1221.84	12	190	0.38
	2003	1268.5	211.79	1240.00	15	238	0.47
	2004	1060.6	279.60		15	238	0.47
	2005	1392.8	251.30	1200.49	11	175	0.35
	2006	1417.7	260.00	1191.79	18	286	0.57
	2007	1282.6			17	270	0.54
	2008	1691			10	159	0.32
	2009	939.2		1451.79	15	238	0.47
	2010	2078.1	247.43	1204.36			
2011	1659.5	267.50	1184.29	15	238	0.47	

Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

## VII. RESULTADOS DEL ESTUDIO

De acuerdo con los objetivos planteados se recolectó, evaluó y determinó la información disponible, las características y el comportamiento hidrogeológico del acuífero metropolitano al Norte de la Ciudad de Guatemala, así como las variaciones tanto en espacio como en tiempo, para estimar la tasa de descenso y extracción de los sectores y de los pozos más críticos. El criterio para clasificar al pozo crítico, fue el de finalización de su potencial hídrico.

7.1 La cuenca Norte (sub-cuencas de los ríos Las Vacas, Los Ocotes y Los Vados) abastece a la ciudad de Guatemala, con un caudal de 31.6 Mm<sup>3</sup>/año. Las características de sus acuíferos según la geomorfología son:

Características					
Cuenca	Ubicación	Acuífero	Período	Constituido por:	Orden de aportación Mm <sup>3</sup> /año
Río Las Vacas (57 km <sup>2</sup> )	Norte	Rellenos volcánicos cuaternarios	Cretácico	Indicios kársticos (calizas, metamórficas)	73.27
Río Los Vados (45 km <sup>2</sup> )	Valle	Andesita fracturada, sedimentos fluviales y lavas volcánicas del terciario	Terciario	Lavas Coladas (andesitas, riolitas, basaltos)	46.89
Río Los Ocotes (57 km <sup>2</sup> )	Sur	Calizas del cretácico (con diferentes niveles de aguas)	Cuaternario	Sedimentos (gravas, arenas, limos, arcillas)	86.3

7.2 Las variaciones de espacio y de tiempo en los pozos explotados se consideran como siguen:

- 7.2.1 El sector Lavarreda-Rodeo presenta profundidades en los pozos que oscilan entre 396 m a 421 m, el análisis de la variación de los niveles freáticos es de 8 metros promedio, aproximadamente, por año (el análisis realizado en 9 pozos para un rango de 6 a 11 años de información). Respecto al análisis de extracción se hizo con base en recopilación de datos registrados, que van desde 7 a 10 años, determinando que el caudal promedio extraído, es de 265 gal/min.
- 7.2.2 El sector Vista Hermosa presenta profundidades en los pozos que oscilan entre los 341 m a 396 m, el análisis de la variación de los niveles freáticos es de 11 metros promedio, aproximadamente, por año (el análisis fue realizado en 7 pozos para un rango de 6 a 11 años de información). Respecto al análisis de extracción, se hizo con base en la recopilación de datos registrados, que van desde 8 a 10 años, determinando que el caudal promedio extraído es de 261 gal/min.
- 7.2.3 El sector Canalitos presenta profundidades en los pozos que oscilan entre los 300 m a 530 m. El análisis de la variación de los niveles freáticos es de 11 metros promedio aproximadamente por año (el análisis se hizo en 6 pozos para un rango de 6 a 11 años de información). Respecto al análisis de extracción, se realizó con base en la recopilación de datos registrados, que van desde 4 a 10 años, determinando que el caudal promedio extraído es de 485 gal/min.

- 7.2.4** El sector Norte presenta profundidades en los pozos que oscilan entre los 351 m a 451 m, el análisis de la variación de los niveles freáticos es de 7 metros promedio aproximadamente por año (el análisis realizado en 6 pozos para un rango de 10 a 11 años de información). Respecto al análisis de extracción se hizo con base en la recopilación de datos registrados, que van desde 9 a 10 años, determinando que el caudal promedio extraído es de 338 gal/min.
- 7.3** La elección del pozo crítico de cada sector estudiado, se consideró con base en la finalización de su potencial hídrico, en función de la última extracción hecha en el pozo y el fondo del mismo, indicando lo siguiente:
- 7.3.1** Para el sector Lavarreda-Rodeo el pozo crítico es el L3 debido a que su potencial hídrico finaliza en el año 2017, con una tasa promedio anual de descenso de 8 m y un caudal promedio extraído aproximado de 0.42 Mm<sup>3</sup>/año equivalentes a 211 gal/min.
- 7.3.2** Para el sector Vista Hermosa el pozo crítico es el H3 debido a que su potencial hídrico finaliza en el año 2017, con una tasa promedio anual de descenso de 14 m y un caudal promedio extraído aproximado de 0.70 Mm<sup>3</sup>/año equivalentes a 356 gal/min.
- 7.3.3** Para el sector Canalitos el pozo crítico es el C9 debido a que su potencial hídrico finaliza en el año 2020, con una tasa promedio anual de descenso de 15 m y un volumen anual promedio extraído aproximado de 0.73 Mm<sup>3</sup>/año equivalentes a 370 gal/min.
- 7.3.4** Para el sector Norte el pozo crítico es el N4 debido a que su potencial hídrico finaliza en el año 2025, con una tasa promedio anual de descenso de 6 m y un caudal promedio extraído aproximado de 0.43 Mm<sup>3</sup>/año equivalentes a 217 gal/min.
- 7.4** La graficación de resultados, de cada sector de pozos evaluado, se presenta por medio de un cuadro y una gráfica; el primero consta de dos análisis, uno para determinar la variación de los niveles freáticos y el otro análisis para determinar la tasa extraída. Inmediato al cuadro, en la parte inferior, se encuentra el histograma que ejemplifica la variación del nivel dinámico en metros desde el año 2000 hasta el 2011, con la excepción del año 2001 y 2008, debido a que Empagua no posee estos registros; se indica la profundidad del pozo con la sigla PP y el caudal medio en galones por minuto, a manera de ilustrar el comportamiento para cada uno de los pozos.
- 7.5** Respecto a las gráficas de los pozos críticos de cada sector evaluado, se presentan tres variables: la cota del nivel dinámico, en metros sobre el nivel del mar, con el propósito de representar el comportamiento del nivel freático del agua subterránea; el caudal anual extraído en millones de metros cúbicos, para tener noción de la cantidad promedio de agua que se extrae y la precipitación pluvial en milímetros, para considerar si ha habido recargas hídricas y tener parámetros para análisis del comportamiento de las fluctuaciones del agua. En la misma página, debajo del gráfico, se presenta un cuadro resumen de datos importantes que incluyen los resultados del caudal de extracción en diferentes dimensionales; registro de datos de la precipitación pluvial desde el año 1998 hasta el 2011, el nivel del brocal en metros sobre el nivel del mar y la cota del nivel dinámico en metros sobre el nivel del mar y la profundidad del pozo evaluado en metros.

## VIII. CONCLUSIONES

- 8.1 Los niveles freáticos de los pozos ubicados en el acuífero del Norte del valle de la Ciudad de Guatemala descienden progresiva y permanentemente, con una tasa promedio aproximada de 9 m/año, presentan una extracción promedio aproximada de 337 gal/min se estima que su potencial hídrico finaliza aproximadamente en el año 2020; las tasas de extracción superan el metro de descenso anual.
- 8.2 La velocidad de descenso en promedio para el nivel freático de los sectores es: Lavarreda-Rodeo 8 m/año; Vista Hermosa y Canalitos 11 m/año; para Norte 7 m/año; para los cuatro sectores es un promedio de 9 m/año.
- 8.3 La tasa de extracción anual promedio, para los sectores es: Lavarreda-Rodeo 265 gal/min, Vista Hermosa 261 gal/min, Norte 338 gal/min; y Canalitos 485 gal/min; siendo este último el de mayor extracción.
- 8.4 Para la totalidad de los pozos el análisis de extracción promedio anual realizado con base en la recopilación de datos registrados, (de 4 a 10 años), determinó que el caudal promedio extraído es de 337 gal/min.
- 8.5 Los pozos críticos en los cuatro sectores en estudio son el L3 al cual se le extraen 211 gal/min y el H3, 356 gal/min, finalizan su potencial hídrico en el año 2017; al C9 se le extraen 370 gal/min finalizará en el año 2020 y al N4 se le extraen 217 gal/min finalizará su potencial hídrico en el 2025. El límite de tiempo para el aprovechamiento del potencial hídrico se expresa así, si las tasas de extracción continúan en la misma medida que se ha venido realizando.
- 8.6 La tasa promedio anual de descenso, para los pozos críticos, es para el L3 de 8 m, para el H3 de 14 m, para el C9 de 15 m y para el N4 de 6 m.

## IX. RECOMENDACIONES

- 9.1 Monitorear constantemente el nivel del descenso del agua subterránea, para saber con certeza el comportamiento de los pozos y plantear acciones preventivas a corto plazo y atender los pozos críticos.
- 9.2 Tener bajo control el agotamiento del acuífero, porque la extracción excesiva del agua subterránea forma cavernas que pueden causar daños en el territorio, haciéndose visibles cuando suceden movimientos telúricos o movimientos en las placas tectónicas o por fallas geológicas.
- 9.3 Efectuar mediciones sistemáticas de los componentes del balance hídrico, implementando redes de control en las sub-cuencas en estudio.
- 9.4 Generar programas y planes preventivos de recarga natural y artificial en el acuífero metropolitano.
- 9.5 Actualizar el balance hídrico de las subcuencas comprendidas en el área de estudio, tomando en cuenta investigaciones anteriores.
- 9.6 Seleccionar áreas para recarga natural del acuífero o recarga artificial, con el objetivo de garantizar el potencial subterráneo en cada sector mencionado.
- 9.7 Concientizar a la población a cerca del alcance de los riesgos y presiones en donde se encuentran vulnerables los sectores.
- 9.8 Tomar las medidas necesarias, correctivas y de sensibilización, para el buen uso y aprovechamiento integral del recurso hídrico, con el fin de que la extracción futura del agua subterránea sea menor a la actual.
- 9.9 Tomar medidas extremas (sanciones, regulación de contadores) y, si es necesario, limitar y racionar el consumo de agua *per cápita* de acuerdo con los diferentes sectores habitacionales, comerciales, industriales, domiciliarios, etc.

## X. BIBLIOGRAFÍA

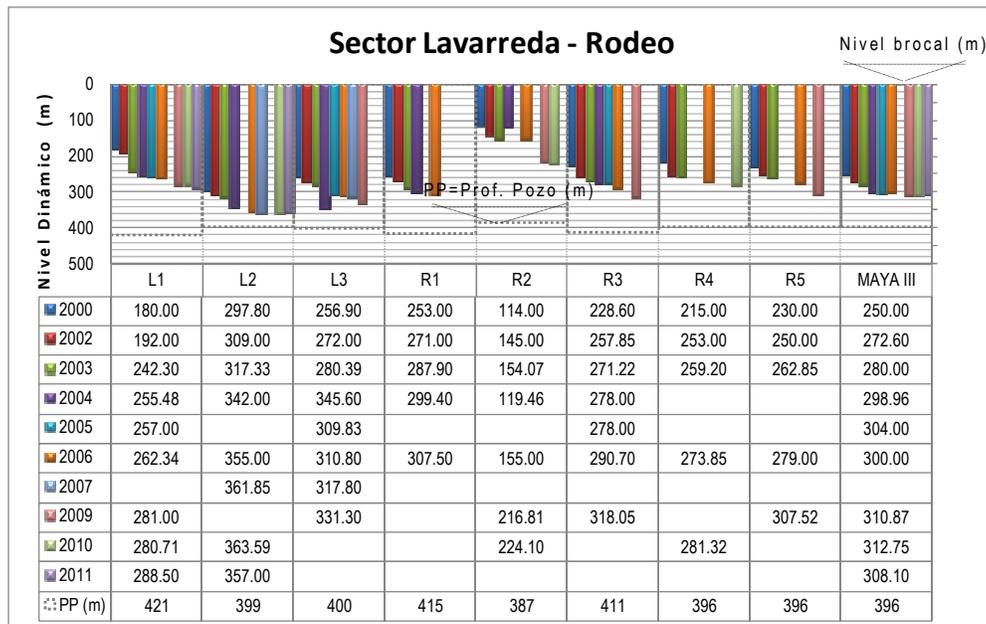
- VERREY J. (1968). *American Water Works Association Agua superficial, calidad y tratamiento*.
- CAP NET, (2010). *Manual de capacitación. Gestión de aguas subterráneas en la GIRH*.
- CHUO, K. (2000). *Proyecto de Desarrollo del Agua Subterránea del Valle de la Ciudad de Guatemala, Emergencia I*. Chuo Kaihatsu Coporation, Ingenieros Consultores.
- CHUO K. (1995). *Estudio Hidrogeológico en el Valle de la Ciudad de Guatemala, Proyecto Emergencia I*. Dirección de aguas y drenajes (1968). Proyecto Sur Oriental de introducción de 12500 pajas de Agua Potable a la Ciudad de Guatemala.
- CUSTODIO, E. Y M.R. LLAMAS. (2001a). *Hidrología Subterránea. Volumen 1. Segunda Edición. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España*.
- CUSTODIO, E. Y M.R. LLAMAS. (2001b). *Hidrología Subterránea. Volumen 2. Segunda Edición. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España*.
- Emergencia I\_JICA. (1986). *Estudio de Factibilidad de Desarrollo de las Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala*.
- TAHAL (1990). *Estudio de recursos de agua subterráneas para el abastecimiento a la ciudad de Guatemala*. Evaluación de Recursos de Agua de Guatemala. Departamento de Guatemala.
- FOSTER STEPHEN Dr. Ing. Hirata Ricardo Ing. Geol. (1991) Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas una metodología basada en datos existentes CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Programa Regional de Prevención y Control de la contaminación de Aguas Subterráneas Lima Perú.
- HESPANHOLI, H. (1999). *Control de la Contaminación del Agua. Guía para la aplicación de principios relacionados con el manejo de la calidad del agua*. PNUMA, CCAAS, OPS Lima Perú.
- PEREZ H. R., (2004). Secretaría del Medio Ambiente Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. *Riesgo ambiental derivado de desastres naturales o tecnológicos y sus efectos en el agua, aire, suelo, subsuelo y acuíferos Jalapa*. México D.F.
- LOSILLA M., Rodriguez H. Schosinsky G.; Stimson J.; Bethune D.,(1995). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. Maestría en Geología, con énfasis en Manejo de Recursos Hídricos e Hidrogeológicos Universidad de Costa Rica.
- MIRANDA F. (2002). *Evaluación de Recarga Natural y Artificial de Acuíferos*.
- Agua Medio Ambiente. (2008). Comisión Europea. European Communities. *Protección de las aguas Subterráneas en Europa*. La nueva directiva sobre las aguas subterráneas consolidación del marco normativo de la UE.
- MORALES J. (2013). *Evaluación del descenso del nivel freático en la parte Norte del acuífero metropolitano en el Valle de Guatemala*. Estudio de Tesis de Maestría -GIRH-, USAC, Facultad de Ingeniería.
- OROZCO E. 2007. *Agua Subsuperficial*. Curso académico, C4.
- Ministerio de comunicaciones y obras públicas, Instituto Geográfico Nacional. División de investigación de recursos de agua. Departamento de Agua Subterránea. (1973, abril). *Proyecto Hidrogeológico "Reconocimiento Hidrogeológico del Valle de Guatemala". Cuencas Hidrográficas de los ríos Michatoya y las Vacas*.
- ROSENDO, F. (2002). *Estudio de recarga natural y artificial de acuíferos en el Municipio de Guatemala con base en datos monitoreados*. Estudio de Tesis, USAC, Facultad de Ingeniería.
- VELÁSQUEZ, E. (1995). *Estudio de los niveles freáticos en el valle de Guatemala*. Estudio de Tesis, USAC, Facultad de Ingeniería.
- VEN T. CHOW. *Hidrología para Manejo de Cuencas. Aguas Subterráneas*.
- World Water Development Report de las Naciones Unidas. En breve: *La crisis mundial del agua*. Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: Agua para Todos, Agua para la Vida. Una empresa conjunta de 23 agencias de las Naciones Unidas, incluso el PNUMA.

**XI. ANEXOS:**

**11.1 NIVEL DINÁMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

**11.1.2 Sector Lavarreda-Rodeo**

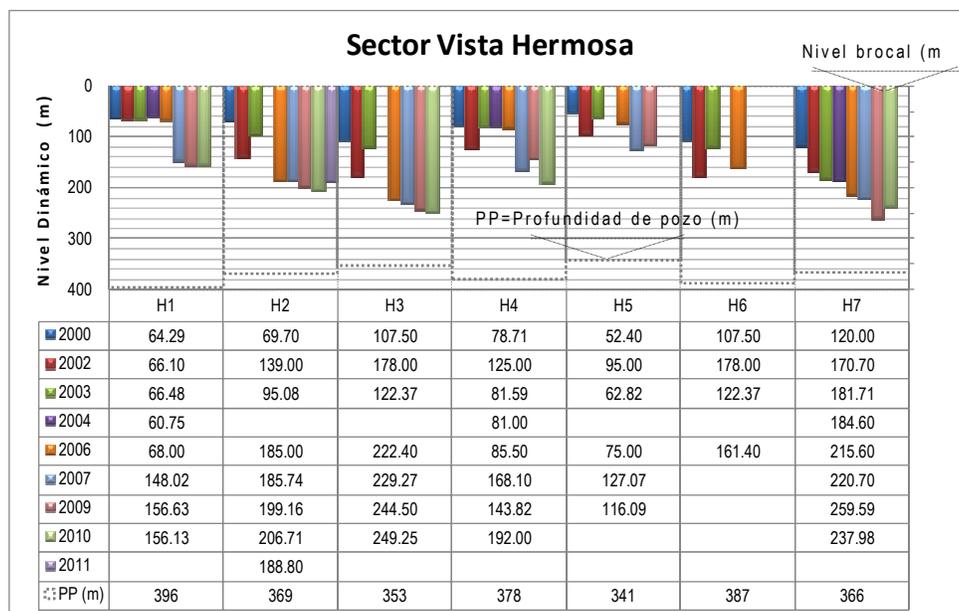
**Cuadro A. Niveles dinámicos de los pozos en estudio.**



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

**11.1.2 Sector Vista Hermosa**

**Cuadro B. Niveles dinámicos de los pozos en estudio.**

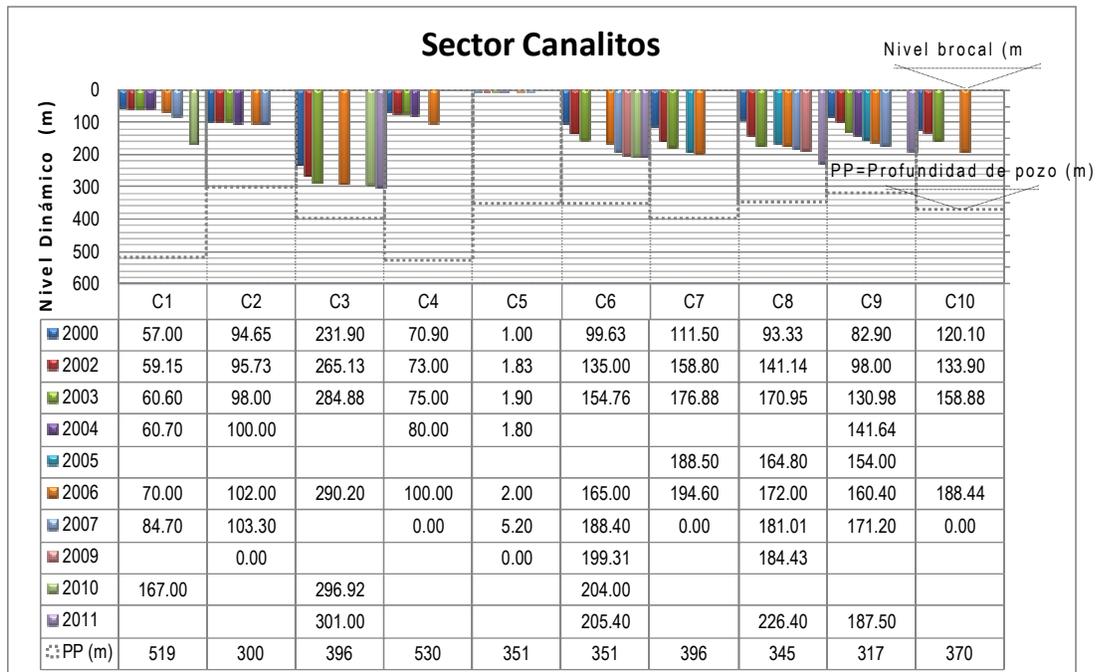


Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

## NIVEL DINÁMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

### 11.1.3 Sector Canalitos

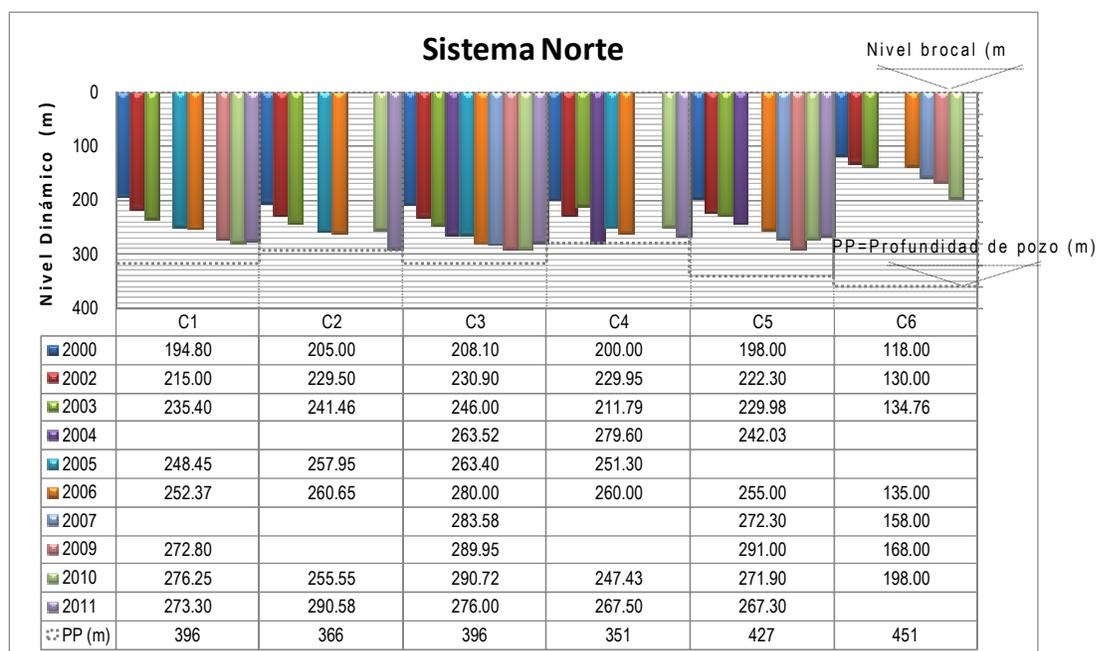
Cuadro C. Niveles dinámicos de los pozos en estudio.



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

### 11.1.4 Sector Norte

Cuadro D. Niveles dinámicos de los pozos en estudio.

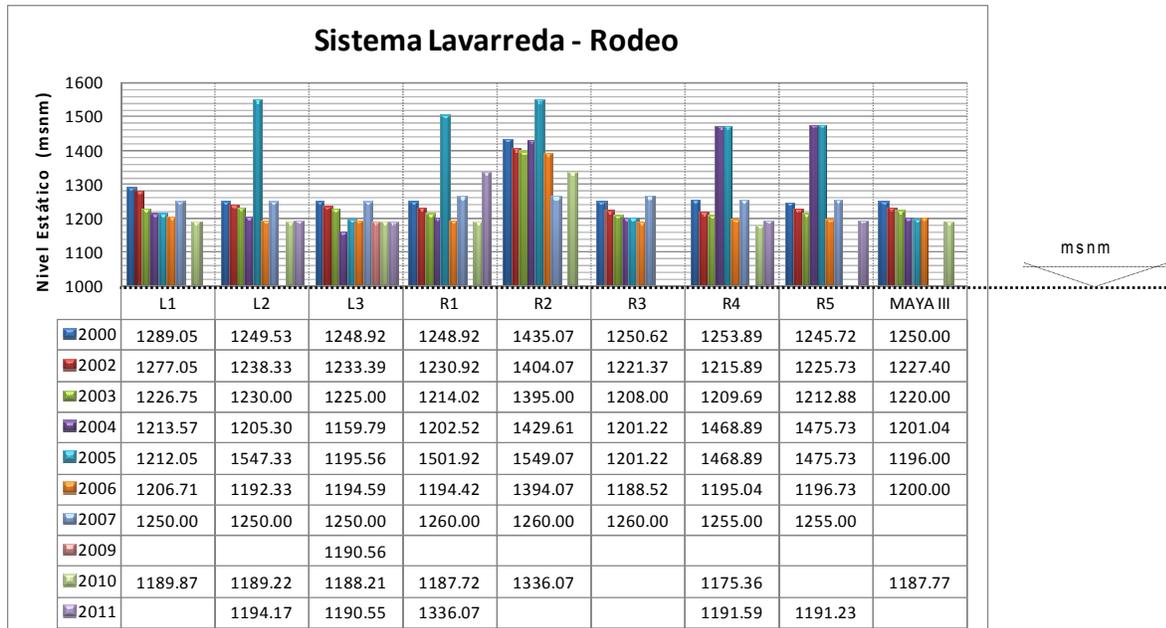


Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

## 11.2 NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

### 11.2.1 Sistema Lavarreda- Rodeo

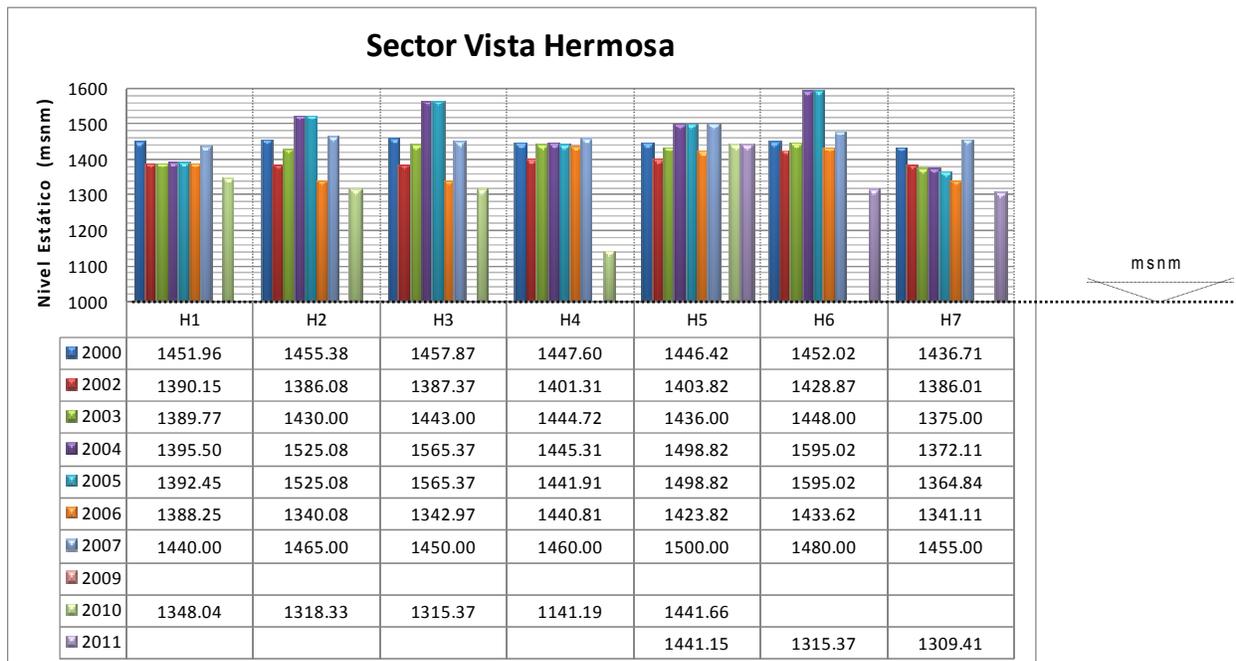
Cuadro E. Niveles estáticos de los pozos en estudio.



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

### 11.2.2 Sistema Vista Hermosa

Cuadro F. Niveles estáticos de los pozos en estudio.

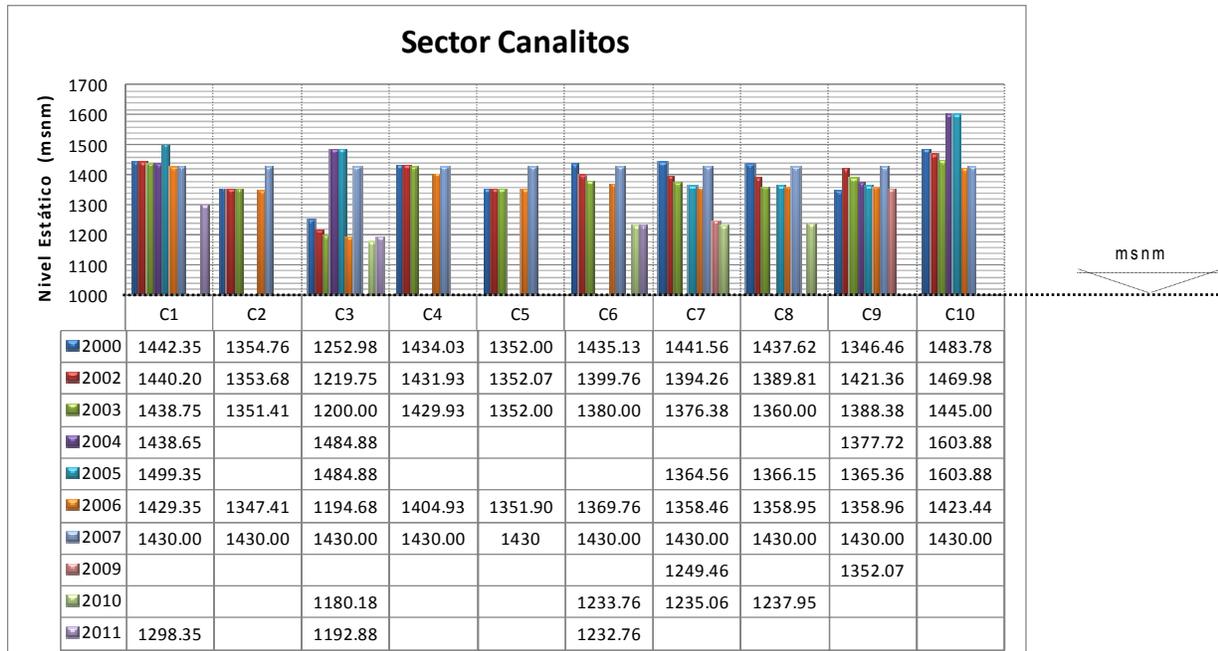


Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

## NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

### 11.2.3 Sistema Canalitos

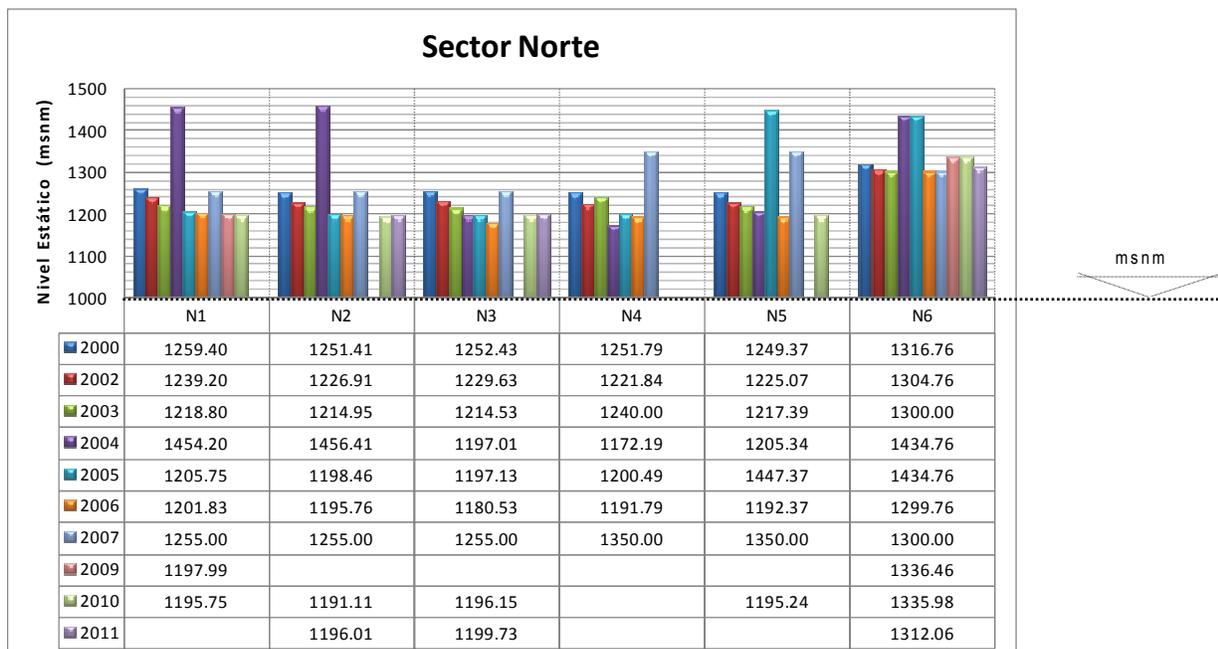
Cuadro G. Niveles estáticos de los pozos en estudio.



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

### 11.2.4 Sistema Norte

Cuadro H. Niveles estáticos de los pozos en estudio.

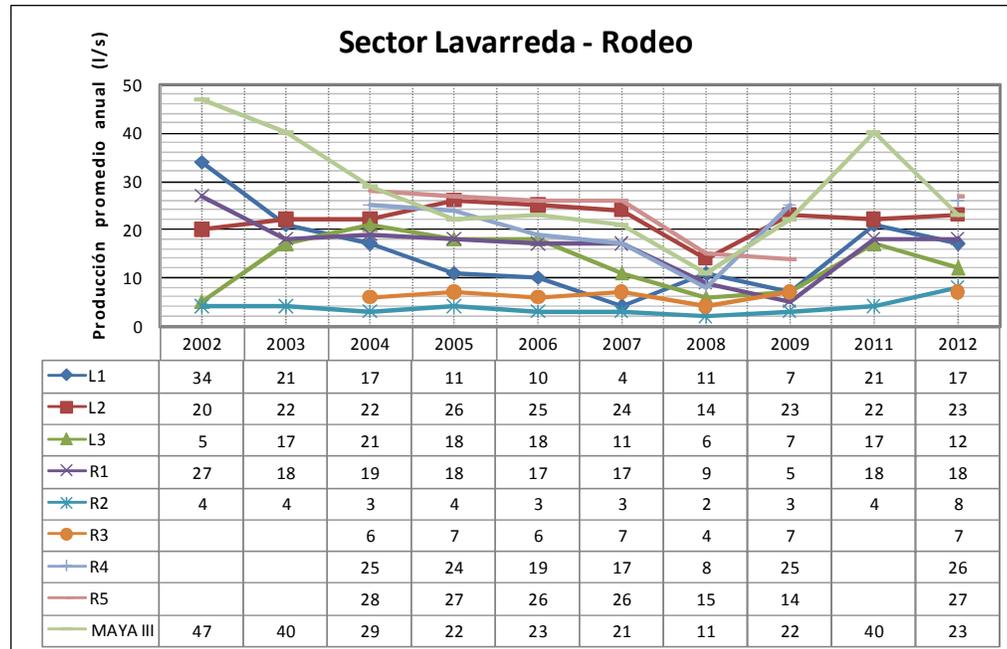


Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

### 11.3 PRODUCCIÓN AGUA ACUMULADA- Agua Subterránea

#### 11.3.1 Sector Lavarreda-Rodeo

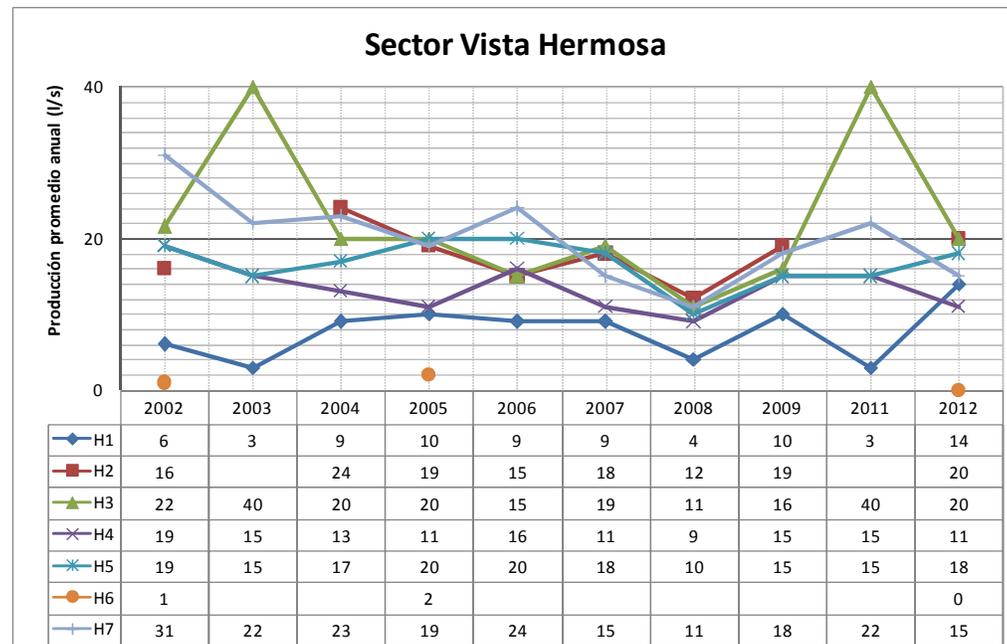
Cuadro I. Producción de los pozos en estudio.



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

#### 11.3.2 Sector Lavarreda-Rodeo

Cuadro J. Producción de los pozos en estudio.

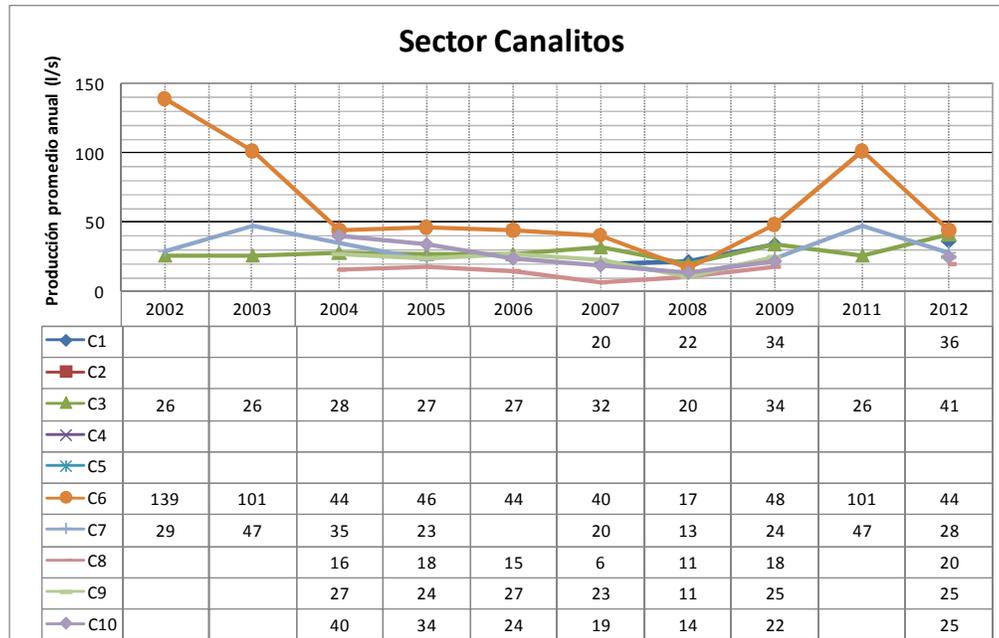


Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

PRODUCCIÓN AGUA ACUMULADA- Agua Subterránea

11.3.3 Sector Canalitos

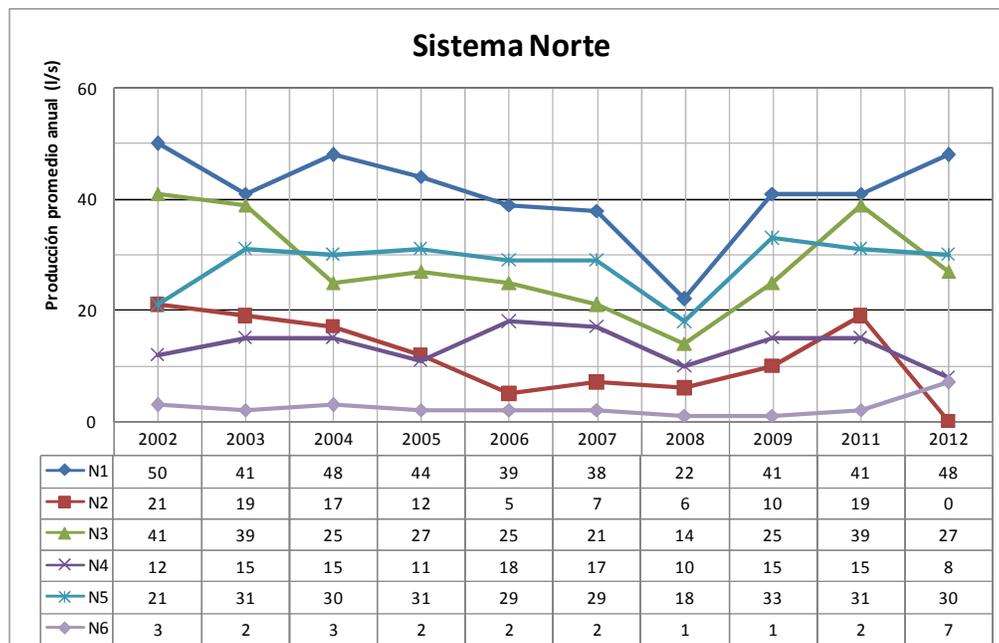
Cuadro K. Producción de los pozos en estudio.



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

11.3.4 Sistema Norte

Cuadro L. Producción de los pozos en estudio.



Elaboración propia: Morales Samayoa, Jacqueline. Con base en el monitoreo propio e historial de datos registrados por EMPAGUA. (2009-2011).

11.4 PERFILES DE POZOS  
11.4.1 Sub-cuenca RIO LAS VACAS

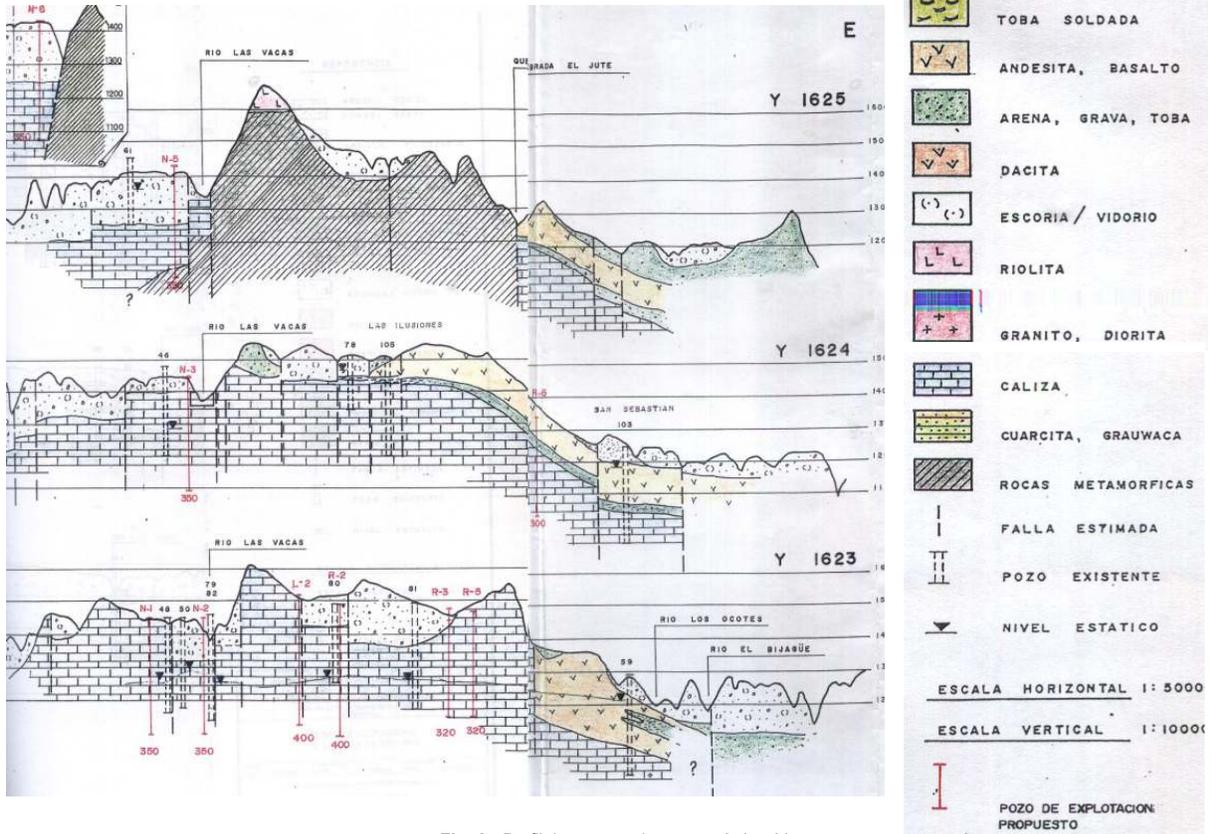


Fig. A. Perfil de pozos sub-cuenca río Las Vacas.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995).

11.4.2 Sub-cuenca RIO LOS OCOTES

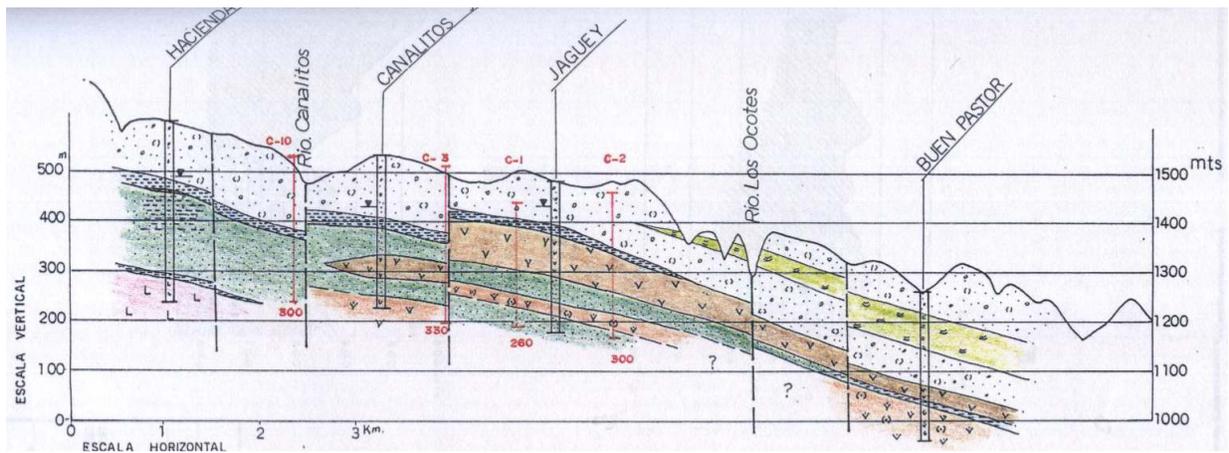


Fig. B. Perfil de pozos sub-cuenca río Los Ocotes.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995).

### 11.4.3 Sub-cuenca RIO CANALITOS

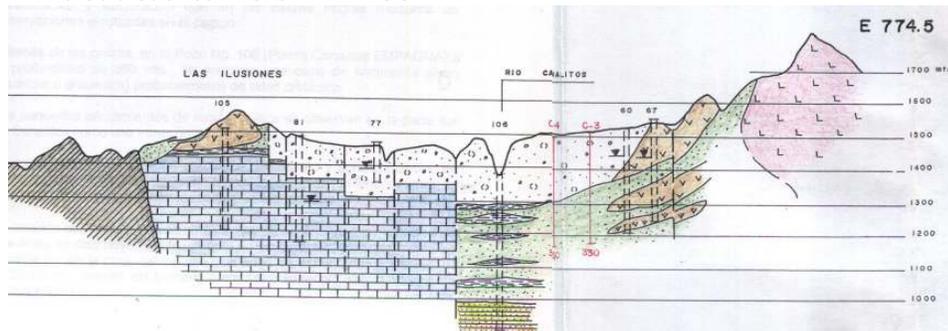


Fig. C. Perfil de pozos sub-cuenca río Canalitos.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995).

### 11.4.4 Sub-cuenca RIO LAS VACAS – CANALITOS – LOS OCOTES

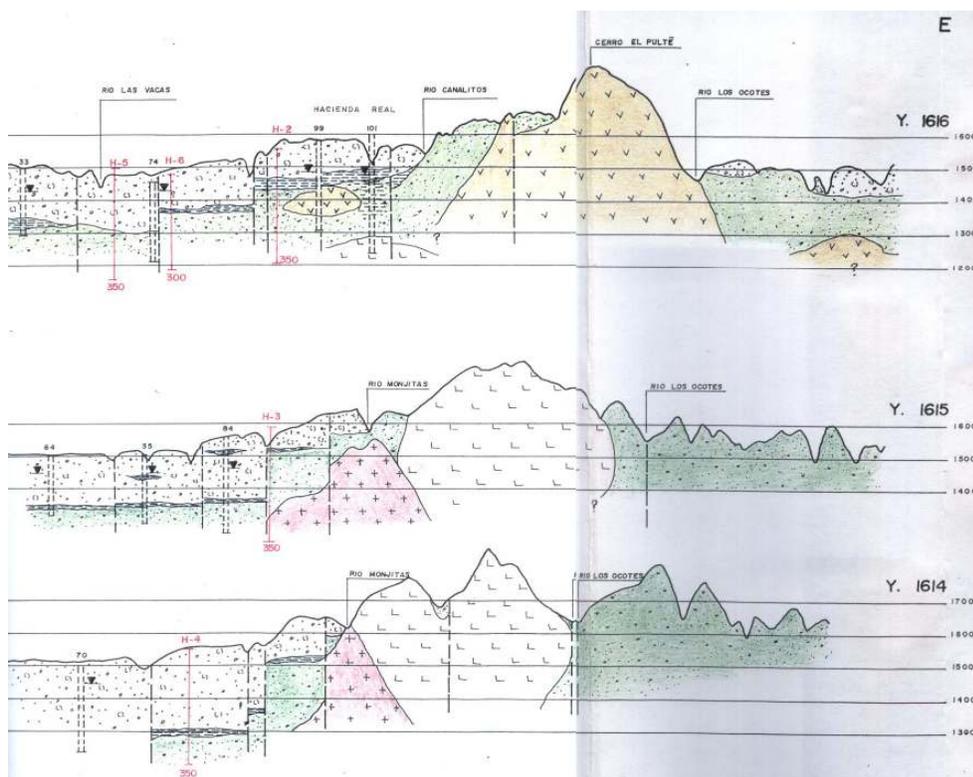


Fig. D. Perfil de pozos sub-cuenca río Las Vacas, Canalitos, Los Ocotes.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995).

### 11.4.5 Sub-cuenca RIO CANALITOS

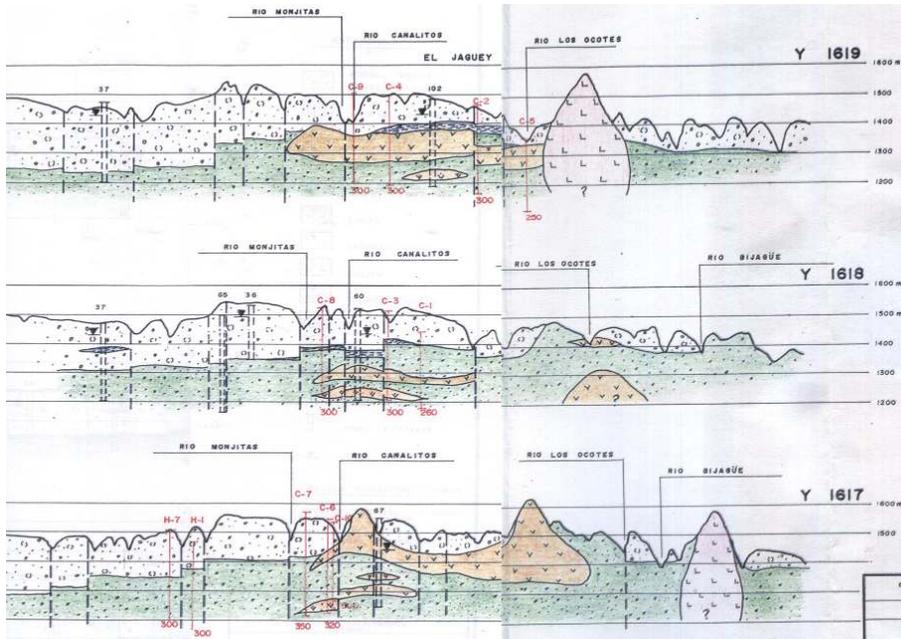


Fig. E. Perfil de pozos sub-cuenca río Canalitos.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995).

### 11.4.6 Sub-cuenca RIO CANALITOS

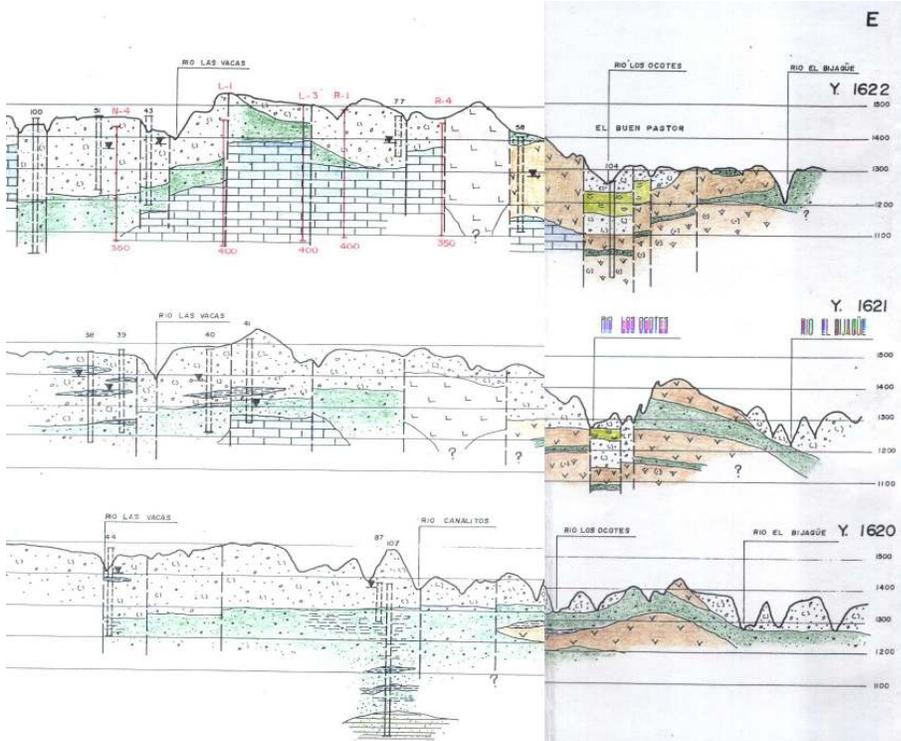


Fig. F. Perfil de pozos sub-cuenca río Canalitos.  
Fuente: Ckc Chuo Kaihatsu Corporation (1995).