



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL
NIVEL ESTÁTICO EN 15 POZOS UBICADOS EN LA ZONA 12 DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA**

Mario Vinicio Rivas Hernández

Asesorado por el M.Sc. Ing. Dany López Bautista

Guatemala, septiembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL
NIVEL ESTÁTICO EN 15 POZOS UBICADOS EN LA ZONA 12 DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO VINICIO RIVAS HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL M.Sc. ING. DANY LÓPEZ BAUTISTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Juan Merck Cos
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO EN 15 POZOS UBICADOS EN LA ZONA 12 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 27 de septiembre 2019.

Mario Vinicio Rivas Hernández

Ref. EEPFI-534-2020
Guatemala, 08 de mayo de 2020

Director
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Ing. Aguilar:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO EN 15 POZOS UBICADOS EN LA ZONA 12 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Mario Vinicio Rivas Hernández** carné número **9730248**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

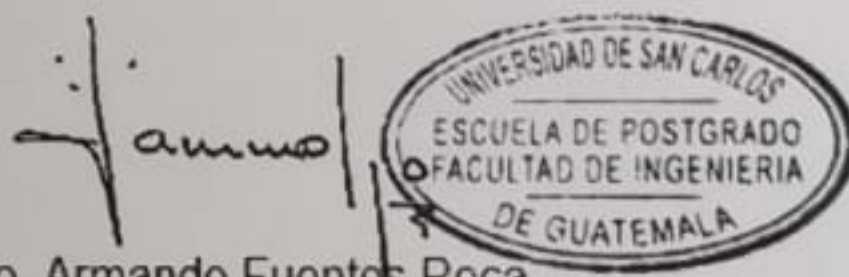
"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Dany López Bautista
Asesor

Mtro. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Área de Infraestructura

Ing. Agr. Dany López Bautista, M.Sc.
Colegiado No. 2,632

Mtro. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

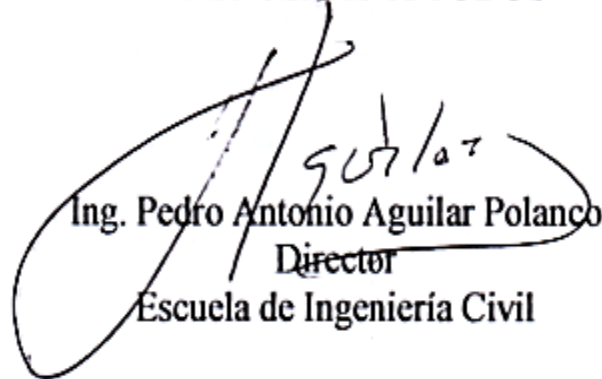
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



EEP-EIC-013-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO EN 15 POZOS UBICADOS EN LA ZONA 12 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Mario Vinicio Rivas Hernández, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director
Escuela de Ingeniería Civil

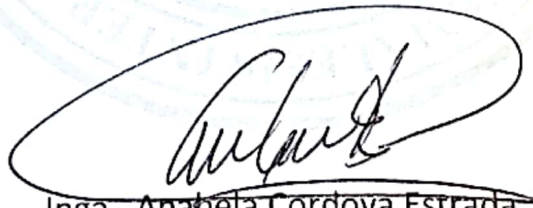
Guatemala, mayo de 2020



DTG. 235.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO EN 15 POZOS UBICADOS EN LA ZONA 12 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Vinicio Rivas Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por las bendiciones recibidas en el transcurso de mi vida y permitirme alcanzar este triunfo.
Mis padres	Mario Rivas y Cristina de Rivas. Con mucho amor y admiración por el esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado para la obtención de este triunfo.
Mi esposa	Paula Reyes. Por su amor, compañía y apoyo para alcanzar esta meta.
Mis hermanas	María, Claudia y Karla Rivas con cariño y respeto este triunfo es por ustedes.
Mis abuelos	Por ser artífices de grandes historias en mi vida, por su amor y consejos.
Mis tíos y tías	Con ser parte de mi formación y por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis suegros	Por el apoyo y cariño manifestado en todo momento.

Mis cuñadas y cuñados

Por su apoyo y cariño manifestado.

Mis sobrinas y sobrinos

Ustedes son los mejores regalos que he recibido en la vida, que este triunfo sirva de ejemplo y motivación para sus vidas.

.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me formó como profesional.
Facultad de Ingeniería	Porque en sus aulas recibí la formación que hoy me acredita para salir a trabajar y contribuir con el desarrollo de nuestro país.
Mis amigos de la Facultad	Jacobo Morales, José Joaquín Ochoa y Percy Palacios. Por ser compañeros de mil batallas en esta etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. GENERALES.....	15
5.2. ESPECÍFICOS	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Ciclo hidrológico	19
7.1.1 Precipitación	19
7.1.2. Escorrentía superficial	19
7.1.3. Infiltración.....	20

7.1.4.	Evaporación	20
7.1.5.	Evapotranspiración.....	20
7.2.	Caracterización hidrogeológica	21
7.2.1.	Geología.....	21
7.2.2	Geología estructural	22
7.2.2.1.	Zonas de falla.....	22
7.2.2.2.	Tipos de falla	23
7.2.2.2.1.	Fallas normales.....	23
7.2.2.2.2.	Fallas inversas	23
7.2.2.2.3.	Fallas transformantes....	24
7.2.2.3.	Tipos de cizallamiento.....	25
7.2.3.	Estratigrafía	25
7.2.4.	Hidrogeología	26
7.2.5.	Recarga hídrica	26
7.3.	Parámetros hidráulicos.....	27
7.3.1.	Permeabilidad	27
7.3.2.	Transmisividad	28
7.3.3.	Coeficiente de almacenamiento	29
7.4.	Agua subterránea.....	30
7.5.	Distribución del agua subterránea.....	31
7.5.1.	Zona no saturada	32
7.5.1.1.	Zonas de evapotranspiración	32
7.5.1.2.	Zonas intermedia.....	32
7.5.1.3.	Zonas capilar	32
7.5.2.	Zona saturada	33
7.6.	Métodos para localizar el agua subterránea	33
7.6.1.	Método de resistividad eléctrica	34
7.6.2.	Método sísmico	34
7.6.3.	Método de perforación	34

7.7.	Acuífero	35
7.7.1.	Acuífero libre.....	35
7.7.2.	Acuífero confinado.....	35
7.7.3.	Acuífero semiconfinado	35
7.8.	Nivel estático	36
7.9.	Nivel dinámico	36
7.10.	Nivel freático.....	36
7.11.	Nivel piezométrico	37
7.12.	Métodos para medir la profundidad del nivel estático de un pozo.....	39
7.12.1.	Método de la cinta eléctrica	39
7.12.2.	Método de la cinta mojada.....	40
7.12.3.	Método de la línea de aire	40
7.12.4.	Método de medición automática.....	41
7.13.	Como generar mapas y perfiles geológicos de una zona	41
8.	PROPUESTA ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA.....	47
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	49
11.	CRONOGRAMA.....	51
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	53
13.	REFERENCIAS.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo hidrológico	21
2.	Zona de falla	22
3.	Falla normal.....	23
4.	Falla inversa	24
5.	Falla transformante	24
6.	Falla transformante	25
7.	Zona saturada y zona no saturada.....	31
8.	Distribución vertical del agua subterránea.....	33
9.	Tipos de acuíferos.....	36
10.	Localización del nivel freático en las aguas subterráneas.....	37
11.	Esquema del concepto de nivel piezométrico	38
12.	Sonda eléctrica.....	39
13.	Cronograma	51

TABLAS

I.	Valores de permeabilidad.....	28
II.	Valores de transmisividad	29
III.	Coeficiente de almacenamiento de terrenos y acuíferos	30
IV.	Presupuesto	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
gal/min	Galones por minuto
h/día	Hora por día
Km	Kilómetro
lts/min	Litros por minuto
m/año	Metros por año
m/día	Metro por día

GLOSARIO

Abatimiento	Es la diferencia entre el nivel del agua en el tiempo del ensayo y el nivel inicial del agua.
Acuífero	Estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.
Coefficiente de almacenamiento	Es el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico o de carga hídrica.
EMPAGUA	Empresa municipal de agua.
Hidrogeología	Es la ciencia que estudia la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas.
Infiltración	Se conoce así al efecto generado por las fuerzas de la gravedad en las zonas del suelo, que ha llegado a su capacidad de almacenamiento de agua producto de la precipitación, de manera que, el agua adicional

desciende hasta el manto freático por medio de los poros o grietas que conforman el suelo.

MAGA

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.

Manto acuífero

Estrato o formación geológica permeable, compuesta de grava, arena o piedra porosa, que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.

Nivel freático

Es en el punto donde el nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Recarga

Es una forma por la cual ingresa agua en los acuíferos subterráneos.

SEV

Sondeo eléctrico vertical.

Transmisividad

Es el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura fija determinada, expresándose en $m^2/día$ o cm^2/seg .

Zona de aireación

Porción de masa de suelo que se encuentra entre el nivel del agua subterránea y la superficie del terreno, donde los poros del suelo contienen cantidades variables de agua y aire.

RESUMEN

La investigación está orientada en determinar el nivel estático del agua subterránea en la zona 12 de la ciudad de Guatemala con el objeto de establecer si existe un descenso significativo en el manto acuífero de la zona debido a la explotación a la que se está sometiendo.

Para tal efecto se recopilarán por síes meses, en quince pozos ubicados dentro del perímetro de la zona 12 los datos de nivel estático, nivel dinámico con ayuda del método de la sonda eléctrica, el caudal de explotación entre otros que ayudaran a tener una mejor perspectiva del problema planteado.

Será un estudio descriptivo, cuantitativo y no experimental, ya que se hará la toma de datos de manera ordenada y sin intervenir de forma directa en la explotación del recurso hídrico.

Con los datos obtenidos se analizará el comportamiento del nivel estático en los pozos evaluados para establecer si existe o no cambios significativos que demuestre que hay incremento en la extracción de agua subterránea.

Este estudio se hará con la finalidad de ayudar en la planificación de futuros proyectos en el sector y para creas propuestas que ayuden al manejo sustentable del recurso hídrico subterráneo de la zona 12.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer la profundidad actual del nivel estático del agua subterránea en quince pozos ubicados en la zona 12 es el objetivo principal del presente estudio, puesto que este recurso se ha convertido en finito, debido a la explotación a la que está siendo sometida por el incremento en el desarrollo de proyectos inmobiliarios, por ejemplo, la construcción de edificios de apartamentos y complejos industriales, a los que en su mayoría se abastece de agua a través de la perforación de pozos mecánicos. No tener control sobre la cantidad de agua subterránea que es explotada diariamente, sin conocer el comportamiento del nivel estático representa un riesgo para su aprovechamiento y manejo.

Para tal efecto se realizará un monitoreo en quince pozos del sector de la zona 12, para determinar la profundidad, el caudal de producción, el nivel estático, nivel dinámico y el abatimiento generado en los pozos. Al obtener esta serie de datos, se va a tabular y establecer una media del comportamiento de los niveles del agua subterránea, la producción de cada pozo en los seis meses, que al final se ilustrará en tablas y gráficas.

Se aportarán medidas que pueda contribuir a la conservación del agua subterránea y de esta forma facilitar información que sea de utilidad para la toma de decisiones en el área de estudio.

Para entender de mejor manera este estudio en el capítulo I, se desarrolla el marco teórico donde se describen conceptos básicos que ayuden a la comprensión del tema, se hablará del ciclo hidrológico y de su influencia en las aguas subterráneas, se describirán las diferentes zonas que compone la

distribución del agua subterránea, se definirá los tipos de acuíferos, que es el nivel freático entre otros temas de interés, en el capítulo II se describen las características geológicas e hidrogeológicas del área de estudio, el proceso que se realiza en el desarrollo de la investigación y evaluación nivel estático en la zona 12. En el capítulo III se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en los pozos seleccionados para la investigación. En el capítulo IV se presenta la discusión de los resultados.

2. ANTECEDENTES

A continuación se hace mención de trabajos relacionados con el tema de investigación, de la importancia de cada uno y el aporte que puede dar a este estudio.

El trabajo titulado Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la República de Guatemala (Ibañez, Barrientos y Hernández, 2016), estudió la franja que comprende la región volcánica de Guatemala desde San Marcos hasta Ipala en Chiquimula. Para este estudio se realizó un levantamiento geológico con fotogeología, en donde se define contactos geológicos entre las unidades superficiales y lineamientos de fallas.

Para el mapeo geológico se usaron mapas geológicos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) 1:50,000 y 1:250,000, para generar los perfiles hidrogeológicos pozos perforados que ayudó a presentar la estratigrafía. Al correlacionar la geología superficial y subterránea se logró presentar la caracterización hidrogeológica, elementos importantes que se toman de base para esta investigación.

A través de pruebas de bombeo y con el uso del método de Jacob & Theis, se determinó la transmisividad y coeficiente de almacenamiento (parámetros hidrogeológicos) para caracterizar el acuífero, se concluyó que en esta región hay dos tipos de terrenos geológicos, al norte rocas metamórficas y al sur rocas ígneas que corresponde a dos placas tectónicas (Norteamérica al norte y Caribe al sur) separadas por las fallas del Motagua, Chixoy-Polochic y Jocotán.

En este estudio se menciona que los acuíferos están constituidos por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias subdividiéndose en unidades hidrogeológicas de piroclastos de pómez y lavas recientes del período cuaternario y lavas antiguas y sedimentos del terciario.

El trabajo titulado Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala (López, 2009), se enfoca en el monitoreo del agua subterránea que se utiliza en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para satisfacer las demandas de agua.

El estudio utiliza cinco pozos mecánicos, de los cuales tres pozos usa para satisfacer la demanda de servicio de agua potable para los estudiantes y administración, otros 2 pozos para proyectos de cultivo y crianza de animales.

Al analizar los registros de la perforación de los pozos se observan perfiles estratigráficos de origen volcánico y depósitos aluviales, que comprende un estrato de arena gruesa negra, con mezcla de grava, ubicado a una profundidad promedio entre los 400 pies hasta los 1,000 pies y luego se encuentran formaciones comprendidas por estratos de roca pómez. Debido a esto la recarga hídrica se considera como buena y en conjunto con los factores meteorológicos en esta área propician una transmisibilidad y permeabilidad del agua aceptable.

Este estudio describe la importancia de conocer los perfiles estratigráficos en los pozos y que al trabajarlos de la mano con datos de precipitación y pruebas de bombeo determinaría parámetros de transmisibilidad y permeabilidad del acuífero en el área.

El trabajo titulado Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del valle de Monjas, Jalapa, Guatemala, (Espinoza, 2010), estima el potencial

hídrico subterráneo del acuífero del valle de Monjas, Jalapa y además de describir las características de los perfiles geológicos también presenta parámetros hidrogeológicos como porosidad, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento.

El potencial del recurso hídrico en el valle de Monjas fue determinado con un balance hídrico, consideró un 59 % de evapotranspiración, 23 % de escorrentía superficial, 13 % de retención y un 4 % de recarga con valor de 620 mm/año y se determinó que la extracción representa un 2 % del total de la precipitación, lo cual permite concluir que tiene un buen potencial de agua subterránea para explotar de forma sostenible.

Además del uso de mapas geológicos obtenidos del IGN y del MAGA, (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) usa sondeos eléctricos verticales (SEV). Para calcular la permeabilidad hizo pruebas de infiltración y pruebas de bombeo, mientras que para conocer la dirección de flujo subterráneo se tomó en cuenta la profundidad de los pozos y del nivel freático.

Este trabajo ayuda a conocer los métodos para determinar la porosidad y permeabilidad, además del uso de sondeos eléctricos verticales para tener la posibilidad de explotación del agua en la región, además de como presentar un balance hídrico.

El trabajo titulado Estudio de aguas subterráneas en zona 13 de la ciudad de Guatemala (Contreras, 2014), se evalúa el estado de las fuentes subterráneas de la zona 13 de la ciudad de Guatemala y realizó el monitoreo de los sistemas privados de abastecimiento de agua potable en edificios de la zona 13, (midiendo el caudal y los niveles estáticos y dinámicos) con la finalidad de establecer el comportamiento de cada pozo.

Este trabajo cuenta con un estudio hidrológico y propone medidas de uso racional de agua o control de su consumo para mantener los niveles adecuados que permita la explotación del agua.

Este estudio sirve para conocer generalidades del agua subterránea, definiciones de acuíferos, metodología para medir el caudal, niveles estáticos y dinámicos en los pozos, lo cual se tomará de referencia para desarrollar la presente investigación y así poder plantear soluciones prácticas para mitigar la sobreexplotación de los pozos en esta área de zona 12.

El trabajo titulado Estudio de los niveles freáticos del área norte y este de la ciudad capital (López, 2014), tiene como objetivo determinar el comportamiento promedio anual del nivel freático en los sectores norte y este de la ciudad capital, utilizando datos de profundidad, niveles estáticos y dinámicos y producción de los pozos por año.

Presenta antecedentes de la explotación del agua en la ciudad capital haciendo énfasis en el incremento demográfico, aumenta la demanda de agua, lo cual aunado a la marcada impermeabilización de las superficies evita infiltración del agua que serviría de recarga de los mantos acuíferos.

Proporciona información hidrológica y geológica de la ciudad capital, presenta distintos métodos para la medición de los niveles dinámicos y estáticos (método de medición automática, sonda eléctrica, línea de aire). Usa el método de la sonda eléctrica y presenta el análisis realizado por sectores.

Interesa esta investigación, ya que al tener información del tipo de estratigrafía y parámetros hidrogeológicos del área de explotación puede darse

un manejo sustentable a este recurso natural. Presenta ideas para evaluar el nivel estático y dinámico con diferentes métodos en los pozos seleccionados de la zona 12.

El trabajo titulado Estudio de aguas subterráneas en zonas 10 y 14 de la ciudad de Guatemala (Contreras, 2013), en este estudio se hizo un diagnóstico sobre los niveles de las aguas subterráneas y el acuífero presente en la zona.

También busca recopilar información geológica significativa, que ayude a la ejecución de futuros proyectos de agua potable con recursos subterráneos, ya que en estos proyectos privados se requiere invertir en la perforación de un pozo propio.

Este estudio también menciona diferentes métodos para localización de agua subterránea (método geofísico, sísmico, resistividad eléctrica, y el de perforación).

La demografía de la zona 12, está en crecimiento de manera que el estudio hecho en las zonas 10 y 14 de la ciudad capital sirve de referencia para aplicar las soluciones más certeras en la zona 12.

El trabajo titulado *Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico de la microcuenca del río Ixtacapa, cuenca alta del río Nahualate, Sololá* (Quezada, 2017), esta investigación realizada en el departamento de Sololá evaluó las características hidrológicas para identificar las posibles zonas de recarga acuífera.

Los estudios hidrológicos identifican tres tipos de permeabilidad: 1) porosos, 2) fisural y 3) poroso/fisural, en este estudio se habla que las zonas de recarga hídrica depende del excedente y del coeficiente de infiltración es decir se

hace una comparación entre los factores que hace que el agua se infiltre (permeabilidad de la roca) y los que evaporan el agua (factores climáticos), todo ello para realizar un contraste y conocer la cantidad exacta de agua que hay dentro de la microcuenca.

Para determinar las unidades hidrogeológicas se observó el tipo y grado de permeabilidad de la roca con respecto a cierta cantidad de agua, se diferencia cuatro grados de permeabilidad, alto, medio, medio-bajo y bajo.

Se observa que las unidades que son porosas y con alto grado de permeabilidad se presenta en depósitos aluviales y coluviales, en las zonas con permeabilidad porosa/fisural y de grado bajo se presenta en las unidades riolíticas o andesíticas, que son las unidades más antiguas de la microcuenca.

El trabajo titulado Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala (Morales, 2012), en este trabajo se midió el nivel estático en 32 pozos ubicados en el norte del acuífero metropolitano para caracterizar el comportamiento hidrogeológico de la zona de estudio.

Entre los datos recolectados tiene los proporcionados por empresa municipal de agua (EMPAGUA) completando con el levantamiento de lecturas en campo, para establecer la situación real de los pozos en ese momento. Utilizó el método de sondeo eléctrico para determinar el nivel freático tomó lecturas del nivel estático y dinámico para comparar estos resultados con los obtenidos en diferentes periodos registrados entre el año 2000 a 2011.

Se analizó e interpretó la información de cada sector, que fue representada en gráficas y cuadros para ilustrar los descensos de los niveles de agua en

metros y la explotación de agua en galones por minuto. Se concluyó que los niveles freáticos en el acuífero norte de la ciudad capital descienden de manera progresiva y permanente con una extracción promedio de 337 gal/min y un descenso promedio de un metro anual.

El trabajo titulado Sobreexplotación de las aguas subterráneas en la cuenca norte de la ciudad de Guatemala (Ibañez, 2018), el objetivo de este estudio fue determinar la variación de niveles en el agua subterránea y la extracción de la misma, en la cuenca norte de la ciudad capital por medio de curvas isofreáticas.

En este estudio se generó información hidrogeológica a partir de informes, mapas y perfiles geológicos de la zona, además de los registros presentados en los años 1978, 1995 y 2012.

El análisis se dividió en dos sectores (calizas y rocas volcánicas) y determinó que existe un descenso significativo en los niveles de aguas subterráneas, en el sector de las calizas ha disminuido de 3 a 5.5 m/año y en el sector de las rocas volcánicas de 3.4 m/año.

Lo que influyó que variará el flujo subterráneo de sur a norte ha variado al este, existe un cambio de dirección de suroeste a noreste. Provocado por la sobreexplotación de manera incontrolada.

Este antecedente describe tres etapas: la primera comprende el análisis de información, define formaciones geológicas y el tipo de acuífero. En la segunda elabora un mapa con unidades litológicas e hidrogeológicas. Y en la tercera interpreta la información para determinar las características hidrogeológicas.

El trabajo titulado Caracterización de los acuíferos para la irrigación agrícola en la cuenca baja del río Acome, La Gomera, Escuintla (Ramírez, 2010), esta investigación presentó a través de la información de siete pozos ubicados en tres sitios distintos, correlaciones estratigráficas para evaluar la variación lateral de los acuíferos y sus implicaciones en sus programas de perforación.

Emitió conclusiones generales sobre la productividad hidrogeológica de los acuíferos a través del tiempo de bombeo como por ejemplo el de 22 h/ día con un caudal promedio de 2271 lts/min

Se utilizó el programa LogPlot v.7 Rockware Utilities para presentar tablas estratigráficas de los pozos, en el que se obtienen gráficas y descripciones de cada estrato; dando énfasis al tipo de granulometría y características físicas.

Este tipo de programa servirá para documentar en forma lógica y ordenada la información geológica obtenida en el desarrollo del estudio de los pozos en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se considera que se está dando una explotación incremental del agua subterránea, producto del desarrollo de proyectos inmobiliarios y a medida que esto se desarrolla, la demanda de agua aumenta, haciéndose inevitable la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

Por lo que con este estudio se realizará la evaluación en quince pozos mecánicos durante síes meses, para conocer el comportamiento del nivel estático en la zona 12 de la ciudad de Guatemala y saber:

- ¿Cuál es el nivel estático actual de los quince pozos ubicados en la zona 12 de la ciudad capital?
- ¿Cuáles son las características geológicas de los suelos en la zona 12, de la ciudad de Guatemala?
- ¿Cuánto desciende y que volumen de agua se extrae mensualmente en cada uno de los quince pozos evaluados en la zona 12?
- ¿Cuál es el pozo con mayor índice de riesgo debido a la explotación a la que está siendo sometido?
- ¿Existen procedimientos que ayuden a la conservación del agua subterránea en la zona 12?

4. JUSTIFICACIÓN

Debido a la influencia que tiene el agua en el desarrollo de las actividades diarias de una sociedad, se presenta el siguiente trabajo de investigación con el fin de conocer el estado actual del nivel estático en quince pozos ubicados en la zona 12, ciudad de Guatemala. Con el crecimiento de la zona se evidencia la tendencia a perforar pozos, de manera que esta información ayudará a crear conciencia en el uso correcto del agua subterránea, además de plantear soluciones prácticas, efectivas que ayude al manejo y sustento efectivo de este recurso hídrico.

Con este estudio se aportará información que ayudará al control de cambios que se puedan presentar en el manto freático, investigación que genera beneficios a la población de la zona 12, que se abastece de este recurso así como de igual manera a todo ciudadano que de manera indirecta hace uso del recurso hídrico de la zona, además de todas las instituciones que velan por la conservación de los recursos hídricos.

La medición de los niveles de agua subterránea puede realizarse con instrumentos de operación manual o con instrumentos automáticos o de registro continuo, para este estudio se ha decidido utilizar la sonda eléctrica ya que está se caracteriza por su forma sencilla, rápida y precisa para medir el nivel del agua, esta cuenta con una señal luminosa y acústica dependiendo del estilo y modelo que se use, resulta ser un método práctico y sencillo con el cual se puede establecer los niveles del agua subterránea.

Este estudio resulta ser interesante justo ahora que el desarrollo inmobiliario está creciendo en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, de tal manera que los resultados que proporcione, demuestre que existe una alta demanda del recurso hídrico y con esto se pueda crear una campaña de información del estado actual y de las consecuencias que se pueda tener si no se toman medidas que contribuyan al mantenimiento del recurso.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar el nivel estático en quince pozos ubicados en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, para saber si existe un descenso significativo debido a la explotación a la que ha estado sometido.

5.2. Específicos

- Identificar las características litológicas del área donde se ubican los quince pozos de la zona 12.
- Analizar el descenso de nivel estático y el caudal extraído de cada uno de los pozos evaluados en la zona 12, durante seis meses.
- Identificar el pozo más crítico de los quince evaluados para fomentar su mantenimiento
- Proponer procedimientos que ayuden al mantenimiento sustentable del agua subterránea en la zona 12.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Este será un trabajo de investigación descriptivo y correlacional, con el que se pretende dar a conocer el comportamiento del nivel estático en quince pozos ubicados en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, que está siendo sometido a un incremento en la explotación de sus aguas debido al crecimiento de la zona con proyectos de vivienda vertical y proyecto de zona industrial.

Es un estudio cuantitativo ya que se hará la recolección de datos de forma estructurada, sin intervenir de manera directa en la explotación del recurso por lo que es un estudio no experimental.

Al conocer los niveles estáticos y dinámicos de los quince pozos seleccionados dentro del perímetro de la zona 12 de la ciudad de Guatemala, se puede determinar cuáles pueden ser las medidas necesarias para un manejo sustentable del recurso hídrico.

Con este estudio aparte de conocer el estado actual del nivel estático también se pretende ampliar los conocimientos geológicos para caracterizar la estratigrafía de la zona, que ayude a en la planificación de nuevos proyectos de perforación de pozos y a partir de esto crear más adelante una guía práctica que ayude a la conservación y manejo adecuado de los recursos hídricos subterráneos en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, para que sea utilizada por todas las instituciones públicas y privadas que estén interesadas en la explotar los recursos hídricos subterráneos.

Los resultados obtenidos también pueden ser utilizados por la unidad de aguas subterráneas de Empagua, para que pasen a ser parte de los registros históricos del sector.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Ciclo hidrológico

Es el proceso mediante el cual el agua circula en la tierra, empieza con la precipitación, para luego formar parte de la escorrentía superficial, infiltración, evaporación y evapotranspiración, llegando de nuevo a condensarse en la atmósfera para empezar un nuevo ciclo.

En resumen, el ciclo hidrológico “es un proceso continuo en el cual el agua de la tierra se mueve en sus diferentes estados a través de los océanos, la atmósfera, la superficie del suelo y el subsuelo” (Sena, 1999, p. 23). En esta investigación se hará énfasis en los siguientes conceptos:

7.1.1 Precipitación

La precipitación es producto del agua evaporada de las superficies donde ya se ha saturado el suelo o donde los factores climáticos influyen para cambiar el agua del estado líquido al estado gaseoso por eso “cuando el agua, en estado líquido o sólido, llega a la superficie de la tierra se dice que ha precipitado” (Custodio y Llamas, 1983, p. 287).

7.1.2. Escorrentía superficial

Es la cantidad de agua producto de la precipitación, que escurre sobre la superficie de la tierra y que no es capaz de infiltrarse debido a la saturación en el suelo o por las características geológicas del mismo, es decir “fluye por acción

de gravedad desde las partes más altas hacia las más bajas, confluyendo en ríos, arroyos y otros cuerpos de agua” (Collazo Caraballo y Montaña, 2012, p. 13).

7.1.3. Infiltración

Es la cantidad de agua producto de la precipitación que logra penetrar los diferentes estratos del suelo y que alimenta los recursos hídricos subterráneos y “que, en su descenso por el suelo, ocupa parcial o totalmente los poros o fisuras del suelo y rocas” (Collazo *et al.*, 2012, p. 14).

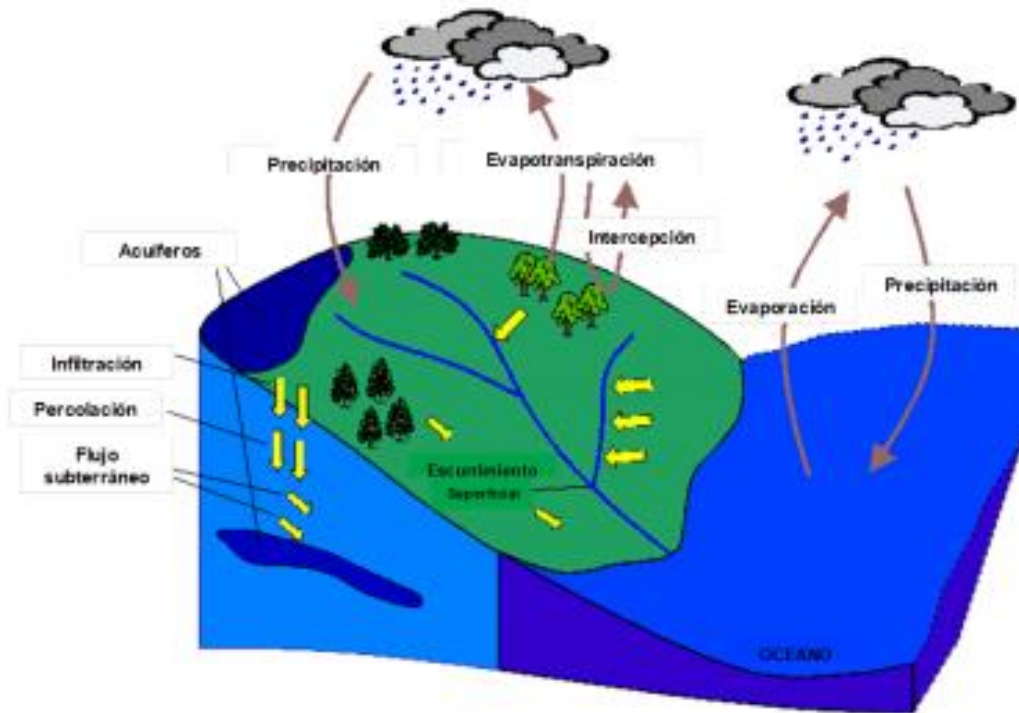
7.1.4. Evaporación

“Es el proceso por el cual el agua de la superficie terrestre pasa del estado líquido al vapor, siendo la energía solar el principal factor desencadenante del proceso” (Collazo *et al.*, 2012, p. 13)

7.1.5. Evapotranspiración

Es el producto la combinación del agua acumulada en las superficies húmedas de la tierra más la transpiración de la vegetación, que bajo los efectos climáticos se transforma en vapor que ascienden hacia la atmósfera, se entiende que “la suma de evaporación y transpiración, es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación.” (Custodio y Llamas, 1983, p. 323).

Figura 1. **Ciclo hidrológico**



Fuente: Ordoñez. (2011). *Ciclo hidrológico*

7.2. **Caracterización hidrogeológica**

Para determinar las características hidrogeológicas de una zona se debe tener el conocimiento de los siguientes términos.

7.2.1. **Geología**

Para conocer a detalle e identificar las estructuras geológicas principales se debe realizar un análisis regional y del sitio de interés, con un estudio geológico, haciendo uso de los recursos como, mapas geológicos, fotos aéreas, registros de perforación de pozos de la zona, entre otros.

7.2.2 Geología estructural

Estudia e interpreta las deformaciones que han ocurrido en las rocas de la corteza terrestre, como resultado de millones de años de evolución geológica, es decir que entiende el origen, la formación de yacimientos y la topografía de la superficie terrestre, resulta ser importante en el desarrollo de proyectos de ingeniería civil como puentes, carreteras, edificios, entre otros, ayudando a mitigar y controlar los riesgos geológicos.

7.2.2.1 Zonas de falla

Término que se usa para estructuras frágiles en las que existe la pérdida de cohesión y deslizamiento dentro de una banda de ancho definido, “una zona de falla puede tener entre algunos metros y muchas decenas de metros de ancho, en longitud puede tener hasta varios cientos de kilómetros” (Rubilar, 1999, p. 25).

Figura 2. **Zona de falla**



Fuente: Geologíaweb (2018) *Fallas geológicas*. Consultado el 10 de marzo de 2020.
Recuperado de <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas>.

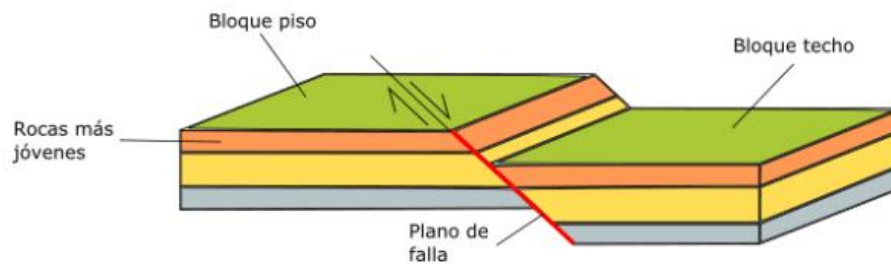
7.2.2.2. Tipos de fallas

Las fallas geológicas normalmente ocurren o aparecen en grupo, que se han desarrollado bajo la misma fuerza tensional de una región cualquiera. Se han definido tres tipos de fallas geológicas:

7.2.2.2.1 Fallas normales

Se originan debido a los esfuerzos de tensión a las que son sometidas “es decir que los esfuerzos hacen que la corteza se estire, y se fracture de tal manera que un bloque de rocas o suelos se desliza hacia abajo con respecto a otro a través de un plano de falla.” (Geologiaweb, 2018).

Figura 3. **Falla normal**



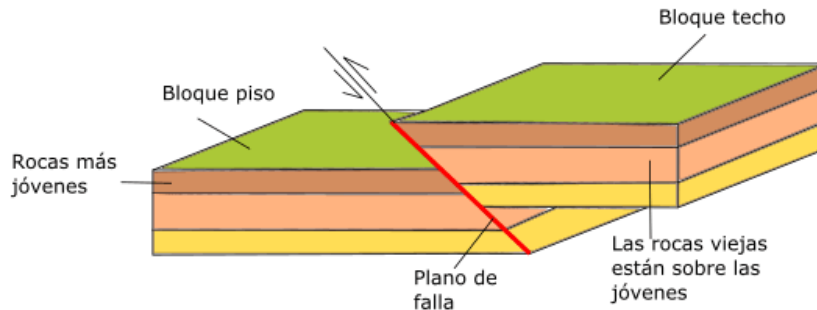
Fuente: Geologíaweb (2018) *Fallas geológicas*. Consultado el 10 de marzo de 2020.
Recuperado de <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas>.

7.2.2.2.2 Fallas inversas

Originadas por la fuerza de compresión que la somete, causando “que la corteza se comprima y se fracture de tal manera que un bloque de rocas se

deslice hacia arriba con respecto a otro a través de un plano de falla.” (Geologiaweb, 2018).

Figura 4. **Falla inversa**

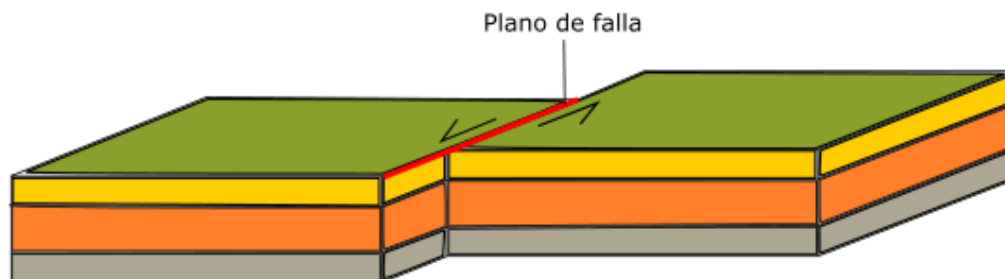


Fuente: Geologiaweb. (2018) *Fallas geológicas*. Consultado el 10 de marzo de 2020.
Recuperado de <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas>.

7.2.2.3. **Fallas transformantes**

Originadas por la fuerza de compresión oblicua al plano de falla, causando “que los bloques de rocas se desplacen lateralmente a lo largo de un plano de falla” (Geologiaweb, 2018).

Figura 5. **Falla transformante**



Fuente: Geologiaweb (2018) *Fallas geológicas*. Consultado el 10 de marzo de 2020.
Recuperado de <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas>.

7.2.2.3. Zonas de cizallamiento

“En estas zonas un proceso que implica fractura, aplastamiento y deslizamiento por fricción de granos o fragmentos de roca, o más comúnmente, por mecanismos de deformación de plástico cristalino” (Geologiaweb, 2018).

Figura 6. **Falla transformante**



Fuente: Geologiaweb (2018) *Fallas geológicas* Consultado el 10 de marzo de 2020.
Recuperado de <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas/> Consulta 10 de marzo 2020.

7.2.3. Estratigrafía

Interpreta las rocas a través del tiempo, los materiales que componen un suelo y delimita cada uno de los estratos tanto vertical como horizontal, que se encuentran en el lugar de estudio. “Los materiales que forman la corteza terrestre pueden presentar características propias adquiridas durante su propia sedimentación” (Custodio y Llamas, 1983, p. 19).

Un perfil estratigráfico se puede obtener a partir de prospección física, datos obtenidos en las perforaciones de pozos del área de estudio y en los cortes de terreno naturales o artificiales.

Los depósitos aluviales son estratos donde la permeabilidad horizontal es más grande que la permeabilización vertical, debido a que están compuestos por arcillas, formando en ocasiones niveles freáticos colgados por lo que resultan ser propensos a deslizamientos.

Los perfiles estratigráficos de origen volcánico, estos están compuestos por flujos piroclásticos de alta temperatura.

7.2.4. Hidrogeología

“Parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas” (Custodio y Llamas, 1983, p. 249), considerando las propiedades físicas, químicas y la reacción que esta tiene ante la intervención del hombre.

Esta a su vez incrementa el conocimiento del estado de las aguas a través de observaciones y formulación de conceptos generales.

7.2.5. Recarga hídrica

Es la cantidad de agua que fluye entre los estratos hasta llegar a las formaciones geológicas como los acuíferos, en otras palabras recarga es “el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua” (Custodio y Llamas, 1983, p. 274).

7.3. Parámetros hidráulicos

Ayudan a caracterizar los acuíferos, a continuación, se hace una breve descripción de cada uno.

7.3.1. Permeabilidad

Capacidad que tiene un suelo de permitir el flujo de agua en él, entre más grietas o poros tenga el estrato del suelo mayor será la capacidad de permeabilidad que este tenga, es decir que “la combinación del tamaño de los poros y el grado en que los poros estén intercomunicados controlará la facilidad con la que el agua fluirá a través de la roca” (Price, 2012, p. 9).

$$K = k_0 * \frac{\gamma}{\mu}$$

Donde

γ es el peso específico del agua

μ es la viscosidad cinemática del agua

K_0 es la permeabilidad intrínseca, que engloba las características de la roca (Villarroya, 2009, pág. 5).

$$K_0 = C * d^2$$

Donde

C es el factor de forma, que depende de la roca

d^2 es el diámetro medio de la curva granulométrica correspondiente al 50 %. (Villarroya, 2009, p. 5).

La permeabilidad se mide en términos de velocidad, y puede cambiar según la dirección que tome el agua a este cambio se le conoce como anisotropía.

Tabla I. **Valores de permeabilidad**

Permeabilidad en (m/día)	10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Clasificación geológica	Gravas limpias		Gravas y arenas o arenas gruesas			Arenas finas o con mezcla de limos		Limos o arcillas arenosas		Arcillas compactas	
Clasificación hidrogeológica	Buen acuífero				Acuífero pobre		Acuítardo		Prácticamente impermeable		

Fuente: elaboración propia.

7.3.2. Transmisividad

Se suele hallar por medio de pruebas de bombeo, expresada en m²/día, la transmisividad “es el caudal de agua subterránea que circula por una sección de acuífero de altura el espesor saturado y anchura la unidad cuando el gradiente hidráulico es la unidad” (Villarroya, 2009, p. 6).

$$T = K * b$$

Donde

K es la permeabilidad

B es el espesor saturado

Tabla II. **Valores de transmisividad**

T (m ² /día)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica
100<T<500	Media alta	Entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica
T<1000	Muy alta	Más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica

Fuente: elaboración propia.

7.3.3. Coeficiente de almacenamiento

“Es el volumen de agua que es capaz de liberar un prisma de acuífero de base unitaria y altura la del espesor saturado, cuando el potencial hidráulico varía la unidad” (Villarroya, 2009, p. 7). El coeficiente de almacenamiento no tiene dimensionales.

Tabla III. **Coefficiente de almacenamiento de terrenos y acuíferos**

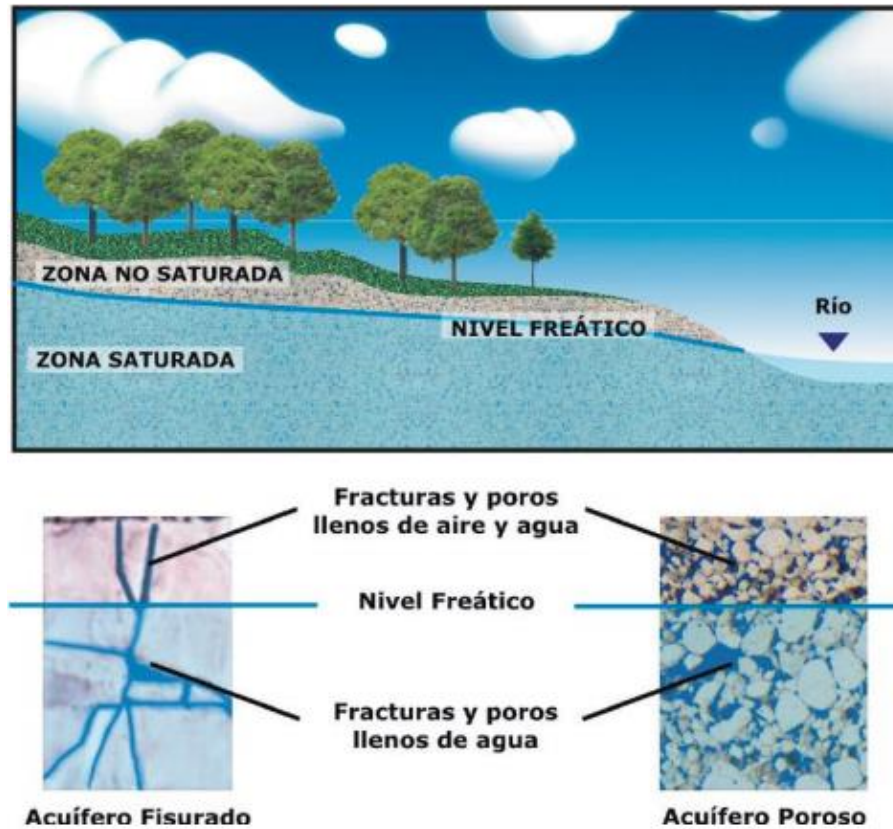
Material permeable	Acuífero	S (valores medios)
Kárstico Calizas y dolomías jurásicas	Libre	$2 \cdot 10^{-2}$
	Semiconfinado	$5 \cdot 10^{-4}$
	Confinado	$5 \cdot 10^{-5}$
Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	$2 \cdot 10^{-2} - 6 \cdot 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$
Poroso intergranular gravas y arenas	Libre	$5 \cdot 10^{-2} - 15 \cdot 10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$10 \cdot 10^{-2} - 18 \cdot 10^{-2}$

Fuente: elaboración propia,

7.4. **Agua subterránea**

Se le llama así a la cantidad de agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra, estos cuerpos de agua se abastecen por el proceso de infiltración. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales, con velocidades que van desde m/año a cientos de m/día, con tiempos de residencia largos resultando grandes volúmenes de almacenamiento, aspectos característicos del agua subterránea (Collazo *et al.*, 2012, p. 16).

Figura 7. Zona saturada y zona no saturada



Fuente: Collazo y Montaña. (2012). *Manual de agua subterránea*

7.5. Distribución del agua subterránea

El agua subterránea en los estratos de la roca o suelo se presenta por lo general en dos zonas, una superficial que es la zona no saturada y la otra más profunda llamada zona saturada, con características hidráulicas diferentes, por lo que se hace referencia de las dos a continuación:

7.5.1. Zona no saturada

Esta zona se ubica entre los límites del terreno y la superficie del manto freático y se caracteriza porque sus poros están llenos por agua y aire, a su vez, esta zona se divide en:

7.5.1.1. Zona de evapotranspiración

Se caracteriza por tener espesor variable, abarca el área donde se encuentran las raíces de la vegetación, los procesos físicos, químicos, biológicos son variados pero intensos y “la actividad biológica vegetal y de microorganismos que genera CO₂, hacen que actúe como un filtro natural ante los contaminantes” (Collazo *et al.*, 2012, p. 17).

7.5.1.2. Zona intermedia

“Zona ubicada entre la zona de evaporación y la zona capilar” (Collazo, *et al.*, 2012, p. 17).

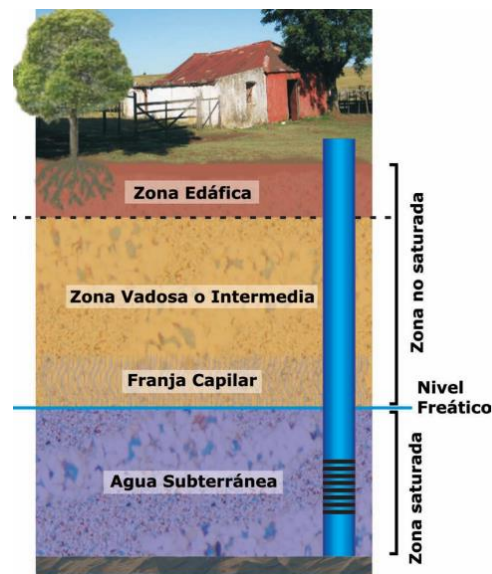
7.5.1.3. Zona capilar

“Está ubicada justamente sobre la superficie freática llegando hasta el límite de ascenso capilar del agua, su espesor depende de que tan homogéneo sea el terreno y de la distribución del tamaño de los poros” (Collazo *et al.*, 2012, p.17).

7.5.2. Zona saturada

“Su característica principal es la de tener todos sus poros llenos de agua, situada por debajo de la superficie freática” (Collazo *et al.*, 2012, p. 17)

Figura 8. Distribución vertical del agua subterránea



Fuente: Fuente: Collazo y Montaña. (2012). *Manual de agua subterránea*

7.6. Métodos para localizar el agua subterránea

En la necesidad de buscar agua subterránea el hombre desarrollado varios métodos geofísicos para evitar pérdidas económicas y de tiempo, donde se evidencia de manera directa la formación subterránea y refleja la posibilidad de encontrar agua en el área de estudio, una de las ventajas es que se pueden realizar de manera superficial y subterránea. Los principales métodos son:

7.6.1. Método de resistividad eléctrica

Es el método más utilizado, los instrumentos son accesibles y no requiere de mucho personal para realizarlo. Se realiza en la superficie donde se induce corriente eléctrica al suelo, para determinar las áreas con mayor probabilidad de explotación agua subterránea y la profundidad de las capas que por resistividad resultan ser mejores como unidad acuífera.

7.6.2. Método sísmico

Resulta más exacto que el eléctrico, este método se basa en la reacción de las masas geológicas a las vibraciones inducidas de manera artificial en la superficie de la tierra con instrumentos pesados o con explosivos, produciendo ondas sísmicas que viajan a diferentes velocidades a través de los diferentes estratos determinando en algunas ocasiones el espesor de las primeras 2 o 3 estratos superficiales.

7.6.3. Método de perforación

Es el método más seguro para determinar el tipo de formaciones que se encuentran bajo la superficie, a través de las perforaciones se pueden obtener muestras para generar un registro de los estratos perforados, indicando las características en función de la profundidad, basados en el informe del pocero quien indica la profundidad a la que se produce cambio estrato que es perforado y la profundidad a la que se encuentra agua. Resulta ser un método muy costoso por consiguiente es raro que se realice.

7.7. Acuífero

Formación geológica donde se almacena y circula el agua subterránea a través de los poros o fisuras que componen su estructura, alimentado por el agua procedente de las precipitaciones, infiltradas en el terreno, es decir se le denomina acuífero a la “formación geológica que contiene material saturado y suficientemente permeable para proveer de cantidades significativas de agua a pozos y manantiales” (Price, 2012, p. 71).

7.7.1. Acuífero libre

Acuífero cuyo cuerpo de agua tiene una superficie en contacto con el aire y a la presión atmosférica... “al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente la superficie obtenida por los niveles del agua de cada pozo forma una superficie real” (Custodio y Llamas, 1983, p. 264).

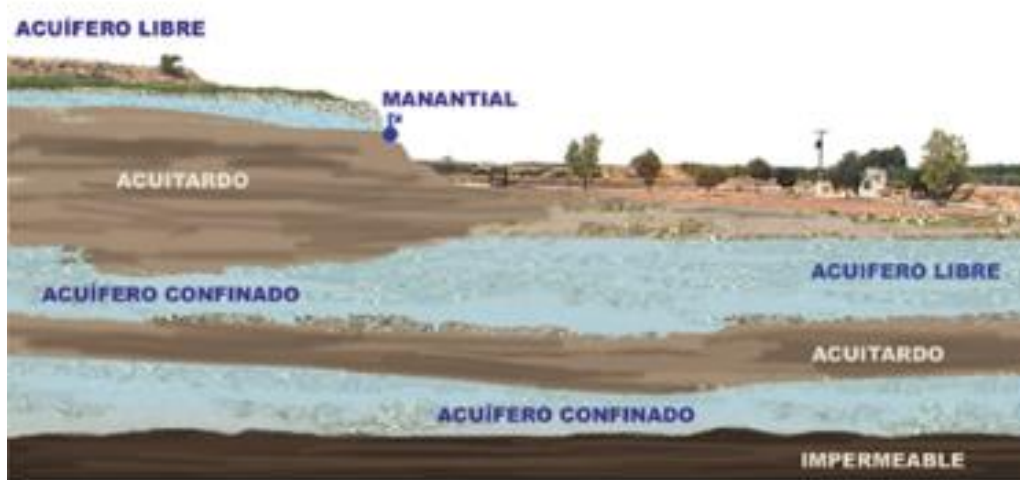
7.7.2. Acuífero confinado

Está completamente saturado y la presión que ejerce en él es superior a la atmosférica se recarga de aguas que provienen de zonas más lejanas ya que se encuentran debajo de capas impermeables.

7.7.3. Acuífero semiconfinado

Caracterizado por estar en un terreno de baja permeabilidad, la recarga es local, pero muy lenta por lo que necesita de mucho tiempo para recargarse.

Figura 9. Tipos de acuíferos



Fuente: Hispagua. (s.f.). *Hidrogeología*. Consultado el 22 de noviembre 2019.
Recuperado de <https://hispagua.cedex/datos/hidrogeologia>.

7.8. Nivel estático

Es el nivel que tiene el agua subterránea en un pozo cuando aún no ha iniciado la extracción de esta, con referencia a la superficie.

7.9. Nivel dinámico

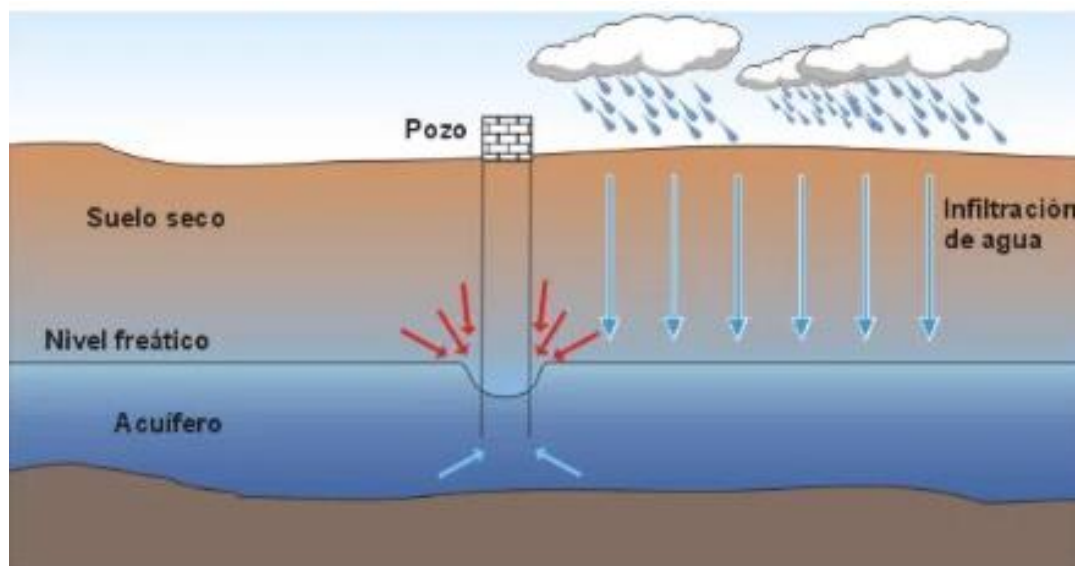
Es el nivel que alcanza el agua subterránea luego de cierto tiempo de iniciado el bombeo, es decir hasta el preciso momento en el que vuela a estabilizarse el nivel aun bombeando ese será el nivel dinámico

7.10. Nivel freático

Se refiere a la capa superior de un acuífero, marcando la división entre la zona de aireación y la zona de saturación, cuando en un acuífero libre se perfora

un pozo para la extracción de agua subterránea el nivel freático es la distancia que hay de la superficie de la tierra a la superficie del cuerpo de agua. Este varía según la recarga hídrica que tenga y la explotación que sea sometido el acuífero.

Figura 10. **Localización del nivel freático en las aguas subterráneas**

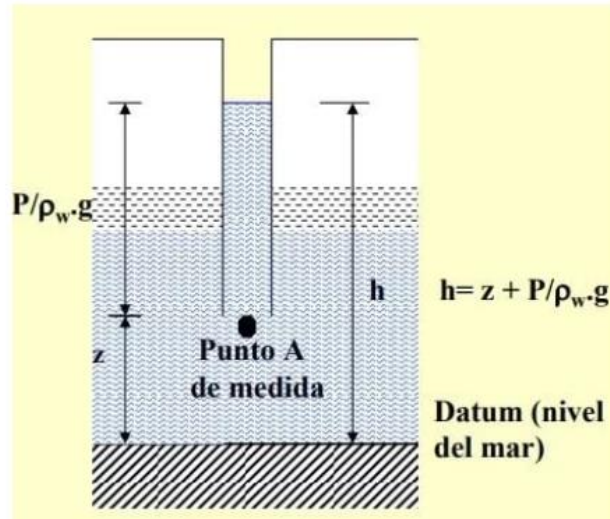


Fuente: Fibras y normas de Colombia. (2019). *Nivel freático y nivel piezométrico*. Consultado el 22 de noviembre de 2019. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/nivel-freatico-y-nivel-piezometrico/-como-se-mide-el-nivel-freatico>.

7.11. Nivel piezométrico

En los acuíferos libres es la altura de la superficie libre de agua sobre el nivel del mar, y en los acuíferos confinados, es la altura que alcanzaría el agua en un pozo hasta equilibrarse con la presión atmosférica; por lo tanto, en cada punto donde exista una perforación de un acuífero confinado se tiene un nivel piezométrico propio y diferente (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2019).

Figura 11. Esquema del concepto de nivel piezométrico



Fuente: Fibras y normas de Colombia (2019) *Nivel freático y nivel piezométrico*. Consultado el 22 de noviembre de 2019. Recuperado de <https://fibrasynormasdecolombia.com/nivel-freatico-y-nivel-piezometrico/-como-se-mide-el-nivel-freatico>.

Donde:

$H =$ Es el nivel piezométrico en el punto de medida A (Altura que tendrá la tabla de agua dentro del sondeo desde un punto inicial o datum).

$Z =$ Representa la energía generada por la elevación del punto A sobre el nivel de referencia a datum.

$P =$ Es la presión que ejerce la columna de agua sobre el punto A

$P_w =$ Es el valor de la densidad del agua

$g =$ Es la constante de la gravedad.

$\frac{P}{\rho_w \cdot g} =$ Es la fórmula que representa la longitud de la columna de agua dentro del sondeo o la perforación (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2019).

7.12. Métodos para medir la profundidad del nivel estático de un pozo

Para obtener la información del nivel estático del agua y la profundidad de los pozos se necesitan mecanismos rápidos y confiables entre los que se puede mencionar:

7.12.1. Método de la cinta eléctrica

Es el más utilizado por ser práctico y económico, este método consiste en una cinta métrica de alta resistencia que en el extremo tiene un electrodo con una línea de corriente conectada a una batería ubicada en la base de la cinta. Para la obtención de los datos se debe introducir el extremo con el electrodo en el pozo cuando este llegue a hacer contacto o a introducirse en el agua genera conductividad eléctrica que se traduce a una señal, ya sea de luz o de sonido e indica el momento justo de contacto con el agua.

Figura 12. Sonda eléctrica



Fuente: Solinst. (s.f.). *Instrumentos de monitoreo de aguas subterráneas* Consultado el 22 de noviembre 2019. Recuperado de <https://solinst.com/espanol/productos/ds/genspanish.pdf>.

7.12.2. Método de la cinta mojada

El método consiste en colocar una pesa de plomo a una cinta de acero para medir, los dos pies inferiores de la cinta se recubren con tiza o yeso, antes de efectuar las mediciones, parte de la sección recubierta penetra y la marca más próxima se sostiene contra el borde superior del ademe del pozo, luego se extrae la cinta. La porción mojada se lee y se resta de la marca que se sostuvo contra el punto de referencia y la diferencia es la profundidad del agua.

7.12.3. Método de la línea de aire

Consiste en un conducto o tubería de pequeño diámetro y longitud suficiente, para que permanezca verticalmente dentro del pozo, el tubo no debe permitir la entrada de aire en el extremo superior se coloca una tee (accesorio hidráulico) a la que se le coloca un manómetro que permite medir la presión del aire dentro del tubo.

La medición que se haga antes de arrancar la bomba indicará el nivel estático del agua. Cualquier cambio en el nivel estará dado por la diferencia de presión indicada por el manómetro en dos mediciones consecutivas. El abatimiento durante el bombeo y durante la recuperación que se produce se puede obtener fácilmente de las lecturas de presión. La profundidad del agua se calcula mediante la expresión:

$$PA = PLA - P$$

En donde:

PA = Profundidad del agua en pies o metros.

PLA = Profundidad de la línea de aire en pies o metros.

P = Es la carga de presión en pies o metros, representada por una columna de agua, cuya altura sea igual a la longitud de porción sumergida de la línea de aire.

7.12.4. Método de medición automática

Las medidas automáticas de niveles se realizan con registradores de nivel instalados en los pozos, instrumentos que tienen una amplia gama de funciones como la de medición de niveles, temperatura, conductividad, salinidad y presión.

Estos sistemas funcionan a través de un *datalogger*, el cual es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.

Basados en microcontroladores, generalmente son pequeños, con baterías y equipados con un microprocesador, memoria interna para el almacenamiento de datos y sensores. Los registradores de nivel pueden ser leídos y programados in situ o vinculados a un sistema telemétrico para una administración remota (López, 2014).

7.13. Como generar mapas y perfiles geológicos de una zona

Los mapas geológicos representan la naturaleza y la distribución de los distintos materiales que forman la corteza de la tierra. Como primera acción se debe considerar la escala a la que se realizará, entre más pequeña sea la escala se debe presentar mayor información y más detalles del área de estudio, algunos mapas solamente representan los datos geológicos pero la mayoría incluyen

como fondo geográfico una representación topográfica y planimétrica de los accidentes de la misma.

Se debe representar la litológica de las rocas, los contactos entre ellas, buzamientos, fallas, pliegues, discordancias, su edad o posición estratigráfica, los yacimientos de fósiles, la existencia de canteras o excavaciones que permiten estudiar las formaciones, entre otros.

Para representar fallas, contactos, ejes de los pliegues o pequeños símbolos se usa el color negro, "mientras que la litología se representa por símbolos adecuados a cada unidad de las rocas existentes" (Custodio y Llamas, 1983, p. 43), y se señalan según el color que corresponde a la edad o posición estratigráfica de la formación"

8. PROPUESTA ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Ciclo hidrológico

1.1.1 Precipitación

1.1.2. Escorrentía superficial

1.1.3. Infiltración

1.1.4. Evaporación

1.1.5. Evapotranspiración

1.2. Caracterización hidrogeológica

1.2.2 Geología estructural

1.2.3. Estratigrafía

1.2.4. Hidrogeología

1.2.5. Recarga hídrica

1.3. Parámetros hidráulicos

1.3.1. Permeabilidad

1.3.2. Transmisividad

1.3.3. Coeficiente de almacenamiento

- 1.4. Agua subterránea
 - 1.5. Distribución del agua subterránea
 - 1.5.1. Zona no saturada
 - 1.5.2. Zona saturada
 - 1.6. Métodos para localizar el agua subterránea
 - 1.6.1. Método de resistividad eléctrica
 - 1.6.2. Método sísmico
 - 1.6.3. Método de perforación
 - 1.7. Acuífero
 - 1.7.1. Acuífero libre
 - 1.7.2. Acuífero confinado
 - 1.7.3. Acuífero semiconfinado
 - 1.8. Nivel estático
 - 1.9. Nivel dinámico
 - 1.10. Nivel freático
 - 1.11. Nivel piezométrico
 - 1.12. Métodos para medir la profundidad del nivel estático de un pozo
 - 1.12.1. Método de la cinta eléctrica
 - 1.12.2. Método de la cinta mojada
 - 1.12.3. Método de la línea de aire
 - 1.12.4. Método de medición automática
 - 1.13. Como generar mapas y perfiles geológicos de una zona
2. RECOLECCIÓN DE DATOS
- 2.1. Ubicación de los pozos de estudio
 - 1.1.1 Profundidad del nivel estático
 - 1.1.2. Profundidad del nivel dinámico
 - 2.2. Caudal de explotación

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Comparación del nivel estático

3.2. Comparación del nivel dinámico

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICE

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El trabajo comprenderá cuatro fases, que consisten en la recopilación bibliográfica de la región del estudio. A continuación, la etapa de campo por medio de observación, ensayos y mediciones directas. Posteriormente en gabinete se ordenará y analizará los estudios y datos de campo con el propósito de caracterizar y establecer el comportamiento de los niveles en los pozos para comprobar la hipótesis planteada en esta investigación.

La primera fase comprenderá en recopilar datos durante seis meses en los quince pozos de la zona 12 de la ciudad de Guatemala, de nivel estático, nivel dinámico, caudal de explotación, entre otros, para tener una mejor perspectiva del problema planteado.

Para la medición de los niveles se hará uso del método de sonda eléctrica, el cual consiste en una cinta de alta resistencia calibrada en metros o pies y que cuenta en uno de sus extremos con un electrodo conectado con una línea de corriente a una batería ubicada en la base y que al momento de entrar en contacto con el agua cierra el circuito eléctrico de tal manera que generará una alerta que advierte cuando se ha logrado alcanzar el nivel del agua subterránea, esto con el propósito de determinar la profundidad del nivel estático de los pozos evaluados.

La segunda fase consistirá en recopilar datos geológicos disponibles de la región del área a estudiar, así como estudios de investigaciones geológicas previas con los registros de la perforación de pozos seleccionados para realizar

perfiles estratigráficos. Se consultará literatura, fotografías aéreas, mapas e información general de la región.

Para la tercera fase se ordenará:

- Los datos obtenidos y se hace análisis de la información, en donde se elaborarán los perfiles estratigráficos representativos de la zona.
- se tabularán para obtener tablas y gráficas con el fin de ilustrar las variables del descenso de los niveles del agua en m y la extracción del agua expresada en galones por minuto.

Por último, se presentará el comportamiento del nivel estático de los pozos evaluados de la zona 12, y de estos resultados se establecerá si existe o no cambios significativos en el nivel estático que expliquen si hay o no un incremento en la extracción de agua subterránea producto del crecimiento inmobiliario y de la población.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con un mapa de la ciudad de Guatemala se delimitará el área de estudio para luego realizar a partir de la información obtenida de la oficina del departamento de aguas subterránea de EMPAGUA, la georreferencia de cada pozo incluido en el estudio haciendo uso de GPS.

Con la información de la perforación de los pozos evaluados se realizarán perfiles estratigráficos que representen la geología, a través de un mapa litológico del área.

De los pozos designados para el estudio se obtendrán los niveles estáticos y dinámicos con una sonda eléctrica.

Se utilizará el método estadístico descriptivo para tabular los datos recolectados tanto en la información previa como en la toma de datos de cada pozo, para que por medio de tablas y graficas sean representados los resultados obtenidos.

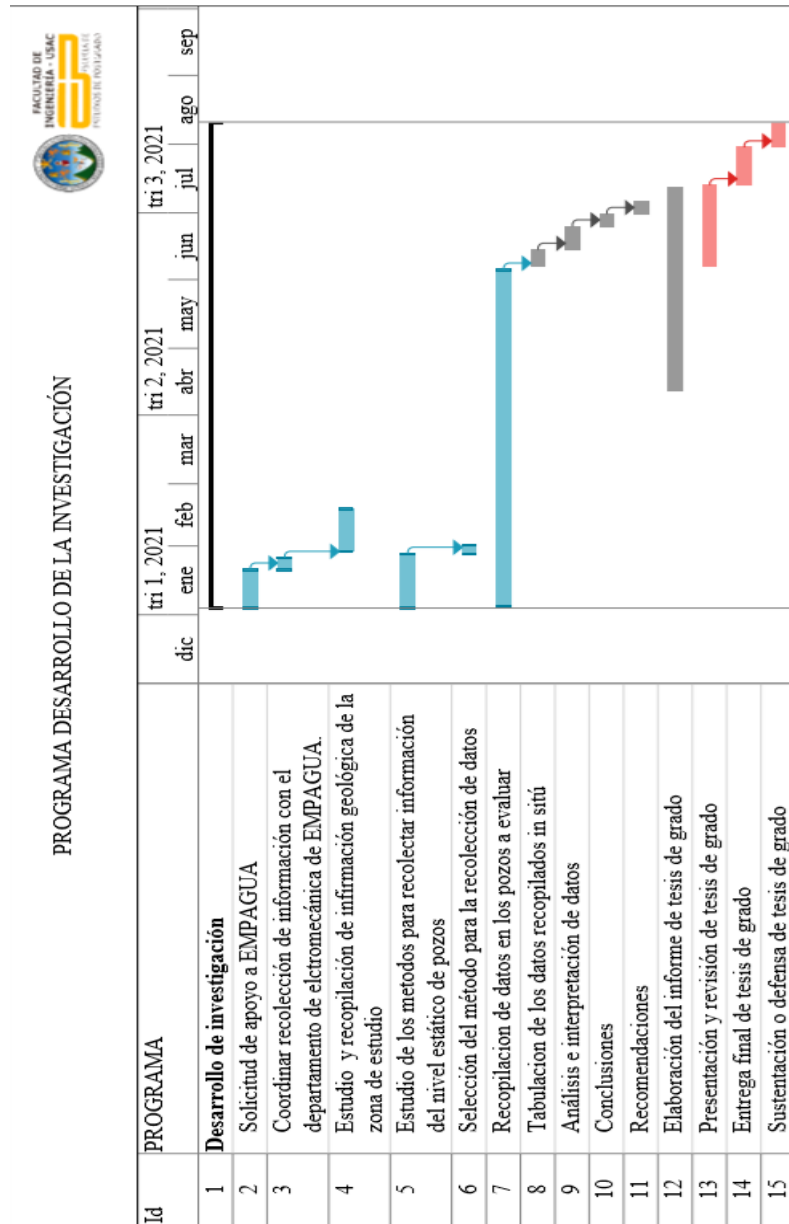
Durante la etapa de desarrollo y análisis como es un estudio correlacional no se manipularán variables, pero se medirá e interrelacionará múltiples variables simultáneamente en situación de observación natural introduciendo controles estadísticos apropiados como la correlación de Pearson para la interpretación de los datos.

Para tal efecto durante el desarrollo del estudio se hará uso de computadoras y de los programas disponibles para la realización del informe, tales como AutoCAD, Google Maps, Google Earth, Geo5, LogPlot v.7, entre otros.

Puede presentarse la prueba de la hipótesis, ya que en el proceso investigativo se define como una suposición para explicar el evento de la investigación con el objetivo de demostrarla o refutarla.

11. CRONOGRAMA

Figura 13. Cronograma



Fuente: elaboración propia

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El análisis de factibilidad resulta ser el instrumento que orienta en la toma de decisiones al realizar la evaluación del proyecto, formulado con base en información que tiene el menor índice de incertidumbre para medir el porcentaje de posibilidades de éxito o fracaso del proyecto por lo que apoyándose en él se tomará la decisión de proceder o no con el estudio, considerando aspectos técnicos, operacionales y económicos.

En los aspectos técnicos y operacionales, se cuenta con el apoyo del Departamento de Electromecánica de Empagua, que cuenta con el equipo necesario para realizar el monitoreo de los niveles en los pozos que se evaluarán.

Considerando la factibilidad económica se considera viable, al tomar en cuenta dichos registros y pruebas pasarán a ser parte del archivo histórico del Departamento de Electromecánica de Empagua estudios que contribuirán al uso y manejo correcto de las aguas subterráneas en la zona 12.

Se estima un presupuesto para la ejecución del estudio, el cual se describe en el siguiente cuadro.

Tabla IV. Presupuesto

PRESUPUESTO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN						
#	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	SUBTOTAL	OBSERVACIONES
1	Visitas a EMPAGUA	global	1.00	Q 750.00	Q 750.00	
2	Recopilación de datos geológicos	global	1.00	Q 2,500.00	Q 2,500.00	Mapas IGN, MAGA, registro de pozos perforados
3	Recopilación de datos <i>in situ</i>	global	1.00	Q 60,000.00	Q 60,000.00	Toma de datos aplicando el método de sonda electrónica
4	impresión de fotos	global	1.00	Q 1,000.00	Q 1,000.00	tomas realizadas en las visitas a los pozos
5	Análisis de datos	global	1.00	Q 2,750.00	Q 2,750.00	tabulación de datos, tablas, gráficas
6	Visitas a asesor para revisiones	global	1.00	Q 1,500.00	Q 1,500.00	Revisiones de avance en el informe final
7	Impresión del informe final	global	1.00	Q 1,200.00	Q 1,200.00	
				TOTAL	Q 69,700.00	

Fuente: elaboración propia

13. REFERENCIAS

1. Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Grupo de Investigación en transporte de sedimento.
2. Bonis, S. (1993). *Mapa geológico de Guatemala, hoja Guatemala (2ª ed.)* escala 1:250000. Guatemala: IGN.
3. Carreón, D., Cerca, M., Luna, L., y Gamez, F. (2005). Influencia de la estratigrafía y estructura geológica en el flujo de agua subterránea del valle de Queretaro. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. (22) 1-18 Recuperado de <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-ciencias-geologicas/25>.
4. Chariguin, M. (1964). *Geología General*. Barcelona, España: Ediciones Grijalbo, S.A.
5. Collazo Caraballo, M. y Montaña, J. (2012). *Manual del agua Subterránea*. Montevideo, Uruguay: Denad Internacional S.A. Recuperado de http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/Manual-de-agua-subterranea-Uruguay.pdf.
6. Contreras, E. (2013). *Estudio de aguas subterráneas en zonas las 10 y 14 de la ciudad de Guatemala*. (tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

7. Contreras, F. (2014). *Estudio de las aguas subterráneas en la zona 13 de la ciudad de Guatemala*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
8. Custodio, E., y Llamas, M. (1983). *Hidrología subterránea*. Barcelona: Ediciones Omega. Recuperado de <https://doku.pub/documents/hidrologia-subterranea-custodio-y-llamas-tomo-ii-yl4zwom979qr>.
9. Decología.info. (2019). *Aguas subterráneas*. Recuperado de https://decologia.info/ecosistemas/aguas-subterraneas/#caracteristicas_naturales_del_agua_subterranea
10. Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda. Recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>.
11. Espinoza, W. (2010). *Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del valle de Monjas, Jalapa, Guatemala*. (Tesis de Postgrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
12. Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2019). *Nivel freático y nivel piezométrico*. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/nivel-freatico-y-nivel-piezometrico/>

13. Geologia.eus. (s.f.). *Que es la Geología*. Recuperado de:
<https://www.ehu.eus/es/web/geologia/zer-da-geologia>
14. Geologíaweb. (2018). *Fallas geológicas*. Recuperado de
<https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas>.
15. Herbert, J. y Castilla, J. (2012). *Utilización de técnicas de sondeos en captaciones de agua*. Madrid, España: Departamento de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. Recuperado de
http://oa.upm.es/10518/1/20120325_Sondeos_para_captaciones_de_Agua.pdf.
16. Hydrolog. (s.f.). *Formaciones Geológicas*. Recuperado de
<http://www.hydrolog.com.br/espanhol/conteudo/index/formacoes-geologicas>
17. Ibañez, D. Barrientos, D., y Hernández, E. (2016). *Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la república de Guatemala*. (Estudio de investigación realizado por el Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Facultad de Agronomía). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
18. Ibañez, I. (2018). Sobreexplotación de las aguas subterráneas en la cuenca norte de la ciudad de Guatemala. *Revista Tikalia*. 36(2) 7-29
Recuperado de <http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2018/10/TIKALIA-2-2018.pdf>.
19. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (s.f.). *Que es un acuífero*.
Recuperado de

http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libro_aguas_sub/PAGINAS_HTML_FINAL_ESPANOL/pagina20/pagina20.htm

20. López, A. (2009). *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. (Tesis de Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
21. López, G. (2014). *Estudio de los niveles freáticos del área norte y este de la ciudad capital*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
22. Monzon, E. (1995). *Estudio de los niveles freáticos en el valle de Guatemala*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
23. Morales, J. (2012). *Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala*. (Tesis de Postgrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
24. Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica Balance Hídrico Superficial*. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf.

25. Pérez, C. (2009). Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión. *Revista Geológica de América Central*.
26. Price, M. (2012). *Agua Subterránea*. México: Limusa S.A. de C.V.
27. Quezada, J. (2017). *Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico de la microcuenca del río Ixtacapa, cuenca alta del río Nahualate, Sololá*. (tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte Cobán. Guatemala.
28. Ramírez, C. (2010). *Caracterización de acuíferos para irrigación agrícola en la cuenca baja del río Acome, La Gomera, Escuintla*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
29. Ramos, B. (2004). *Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
30. Sena. (1999). *Operación y mantenimiento de pozos profundos*. Colombia: Sena Publicaciones. Recuperado de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_pozos/index.html#.
31. Solinst Canadá. (s.f.). *Instrumentos de monitoreo de aguas subterráneas*. Recuperado de: <https://www.solinst.com/espanol/productos/ds/genspanish.pdf>