



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y
MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO EN UN
EDIFICIO DE APARTAMENTOS UBICADO EN ZONA 14, DEL MUNICIPIO DE LA CIUDAD
DE GUATEMALA**

Rodrigo Merck Rosales

Asesorado por MSc. Ing. Ángel Manuel Solórzano Valle

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y
MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO EN UN
EDIFICIO DE APARTAMENTOS UBICADO EN ZONA 14, DEL MUNICIPIO DE LA CIUDAD
DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RODRIGO MERCK ROSALES

ASESORADO POR MSC. ING. ÁNGEL MANUEL SOLÓRZANO VALLE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2023

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. Kevin Bladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta
EXAMINADORA	Ing. María del Mar Girón Córdón
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán
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 UNA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y
MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO EN UN
EDIFICIO DE APARTAMENTOS UBICADO EN ZONA 14, DEL MUNICIPIO DE LA CIUDAD
DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de octubre de 2022.

Rodrigo Merck Rosales



EEPM-PP-2114-2022

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PARA UNA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACION POR LA PERFORACION DE UN POZO MECANICO EN UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS UBICADO EN ZONA 14, DEL MUNICIO DE LA CIUDAD DE GUATAMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y manejo ambiental - Impactos y medidas de mitigación en sistemas de agua potable, desechos sólidos, aguas residuales, sistemas atmosféricos, líticos y ecosistemas acuáticos y terrestres**, presentado por el estudiante **Rodrigo Merck Rosales** carné número **201612135**, 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 ARTES en Energía Y Ambiente.

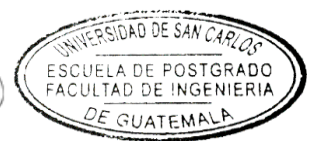
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para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

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Angel Manuel Solórzano Valle
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIC.1724.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria 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: **DISEÑO DE INVESTIGACION PARA UNA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACION POR LA PERFORACION DE UN POZO MECANICO EN UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS UBICADO EN ZONA 14, DEL MUNICIO DE LA CIUDAD DE GUATAMALA**, presentado por el estudiante universitario **Rodrigo Merck Rosales**, 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




Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil


Guatemala, noviembre de 2022



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 UNA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO EN UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS UBICADO EN ZONA 14, DEL MUNICIPIO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Rodrigo Merck Rosales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Por apoyarme y guiarme para llegar al punto de cumplir este gran sueño.

Mis abuelos

Por darme el cariño para y los regaños necesarios para nunca desviarme de mis objetivos.

Mi novia

Por brindarme su cariño y apoyo para no rendirme en este camino.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me abrió sus puertas para llegar a este punto.
Facultad de ingeniería	Por ser como mi segundo hogar en mi tiempo de formación.
Desarrolladora	Por abrirme las puertas para poder realizar este diseño de investigación.
Mis amigos	Por su apoyo y amistad incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3.1. Descripción del problema	5
3.2. Formulación del problema	7
3.3. Delimitación del problema	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Agua subterránea	15
7.1.1. Distribución del agua subterránea	15

	7.1.1.1.	Zona no saturada	16
	7.1.1.2.	Zona saturada	17
7.1.2.		Tipos de acuíferos.....	17
	7.1.2.1.	Acuíferos libres.....	17
	7.1.2.2.	Acuíferos confinados.....	18
	7.1.2.3.	Acuíferos semiconfinados	18
	7.1.2.4.	Acuíferos colgados.....	18
	7.1.2.5.	Acuífugo	18
	7.1.2.6.	Acuícluido.....	19
	7.1.2.7.	Acuíardo	19
7.1.3.		Hidrogeología local.....	19
7.1.4.		Pozos mecánicos	19
	7.1.4.1.	Tipos de pozos	20
		7.1.4.1.1. Pozos poco profundos ..	20
		7.1.4.1.2. Pozos profundos	20
		7.1.4.1.3. Pozos artesianos.....	20
	7.1.4.2.	Métodos de perforación de pozos	21
		7.1.4.2.1. Perforación con sistema de percusión.....	21
		7.1.4.2.2. Perforación con sistema de rotación	21
		7.1.4.2.3. Perforación con sistema de rotopercusión	22
7.1.5.		Puesta en marcha de un pozo mecánico	22
	7.1.5.1.	Terminación del pozo	22
	7.1.5.2.	Desarrollo del pozo	23
	7.1.5.3.	Desinfección del pozo	24
	7.1.5.4.	Pruebas de aforo.....	24
7.2.		Impacto ambiental y medidas de mitigación.....	24

7.2.1.	Impacto ambiental	25
7.2.1.1.	Tipos de impacto ambiental	25
7.2.1.2.	Contaminación de acuíferos	26
7.2.1.3.	Reducción del nivel freático de la ciudad de Guatemala	26
7.2.2.	Medidas de mitigación	27
7.2.2.1.	Plan de gestión ambiental	27
7.2.2.2.	Legislación ambiental de Guatemala...	28
7.2.2.3.	Recargas hídricas.....	29
8.	ÍNDICE DE PROPUESTA	31
9.	METODOLOGÍA.....	33
9.1.	Características del estudio	33
9.2.	Unidades de análisis	33
9.3.	Variables.....	34
9.3.1.	Recursos hídricos	34
9.3.2.	Impacto ambiental	34
9.4.	Fases del estudio	34
9.4.1.	Fase 1: revisión bibliográfica	35
9.4.2.	Fase 2: desarrollo del estudio de impacto ambiental.....	35
9.4.3.	Fase 3: interpretación de los resultados	35
9.4.4.	Fase 4: propuesta de mejora	35
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	37
11.	CRONOGRAMA.....	39

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	41
12.1.	Recursos financieros.....	41
12.2.	Recursos humanos	42
12.3.	Herramientas.....	42
12.4.	Permisos	42
13.	REFERENCIAS	43
14.	APÉNDICE.....	47
15.	ANEXOS	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Árbol del Problema..... 6
2. Cronograma de trabajo 39

TABLAS

- I. Machote de matriz de Leopold 38
- II. Recursos financieros necesarios para la investigación 41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Abatimiento	Radio de influencia del pozo.
Acuerdo gubernativo	Puesta en común proveniente del gobierno.
Acuífero	Formación geológica que permite el almacenamiento de agua subterránea.
Aforo	Técnica de medición del caudal.
Aguas subterránea	Recurso hídrico potable que se encuentra en el subsuelo.
Dotación	Acción de suministrar agua a la población.
Encamisado del pozo	Colocación de tubería una vez el pozo se perforo.
Hidrogeología	Ciencia que estudia el comportamiento del agua subterránea.
Impacto ambiental	Efectos positivos o negativos que tiene una acción humana sobre el ambiente.
Legislación ambiental	Leyes establecidas para la protección ambiental.

Mitigación ambiental	Acciones que se realizan para reducir el impacto ambiental.
Nivel freático	Nivel estático en donde se encuentra el agua subterránea.
Pozo mecánico	Perforación vertical en el subsuelo con el fin de la extracción de agua subterránea.
Recarga hídrica	Actividad que permite ingresar agua al subsuelo de forma natural o artificial.
Recurso hídrico	Cantidad de agua disponible para el uso humano.

RESUMEN

El Presente trabajo de graduación tiene como objetivo el desarrollar una evaluación del impacto ambiental y una propuesta para la mitigación, al momento de perforar un pozo mecánico y ponerlo en marcha, el trabajo se estará realizando en un edificio ubicado en la zona 14 de la Ciudad de Guatemala.

En el cual se habla acerca de los antecedentes claves que llevaron al punto del problema, naciendo del crecimiento exponencial de la población y por consecuencia el incremento en el uso de agua de forma acelerada llegando a impacta los niveles freáticos locales. Se planteo el problema y se delimito el estudio a un solo pozo en el cual se hará el estudio y será posible replicar algunas conclusiones en zonas aledañas.

Una de las justificaciones más relevantes es que en la ciudad de Guatemala la empresa encargada de dotarnos de agua no se da abasto por lo que las desarrolladoras optan por la perforación de pozos recayendo nuevamente en la principal problemática planteada. Además de tocar los puntos teóricos mas importantes para que el lector pueda comprender con facilidad el estudio a desarrollar.

Se propone el índice que se desarrollara en el informe final, la metodología y las técnicas de análisis a implementar, el cronograma de trabajo y la factibilidad de la investigación siendo esta adecuada para realizarse.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso no renovable y esencial para la existencia de la vida en la tierra, debido al estilo de vida que los seres humanos tienen actualmente de forma acelerada, ha sido necesario implementar soluciones para la escasez derivado del consumo excesivo. Por ello se realiza la sobreexplotación de acuíferos mediante la implementación de pozos mecánicos para obtener el recurso hídrico necesario para la dotación de los edificios de apartamentos.

Para lograr llevar a cabo el aprovechamiento del agua subterránea es necesario conocer conceptos básicos de hidrogeología, como se realiza una perforación de un pozo y como se logra el funcionamiento para la distribución de agua. Todo esto tiene un impacto negativo en el ambiente, ya que toda acción humana tiene una consecuencia ambiental que a su vez es necesaria encontrar una forma de reducirla al mínimo.

La identificación de los impactos ambientales es utilizada con el fin de determinar los efectos negativos y positivos por la perforación de un pozo mecánico para la dotación del recurso hídrico de un edificio de apartamentos, derivado de la poca o nula legislación ambiental respecto al uso y distribución del agua, por ello es necesario la redacción de leyes de aguas que estipulen la recarga hídrica y el control del consumo. Es importante la correcta implementación de las medidas de mitigación al momento de realizar una perforación de un pozo, para que se subsane y se cuide el recurso hídrico.

Con los resultados del estudio se espera generar parámetros y variables para el desarrollo y puesta en marcha de un pozo mecánico para un edificio de apartamentos.

2. ANTECEDENTES

El agua subterránea es una parte integral del sistema hidrológico natural, y los seres humanos han utilizado el agua subterránea durante cientos de años. El consumo de agua subterránea ha aumentado gradualmente debido a la creciente demanda de nuevas fuentes de agua, pero solo en las últimas décadas la gente se dio cuenta de sus limitaciones y vulnerabilidad a la contaminación. (Argueta, 2009)

En si el agua subterránea es aquella que puede ser encontrada con un constante flujo en el subsuelo, conformando así los acuíferos. El agua subterránea como toda fuente de agua es regida por el ciclo hidrológico, donde su principal fuente de alimentación recae en el agua de lluvia la cual mediante el proceso de infiltración es capaz de recargar el acuífero, otras fuentes de alimentación para el agua subterránea pueden ser los ríos, arroyos, lagos y lagunas.

La ubicación del agua subterránea es situada debajo del nivel freático y satura completamente los poros o fisuras naturales del terreno, el cual el agua subterránea fluye de forma natural a la superficie de distintas formas, tales como cauces fluviales, manantiales e inclusive por vertientes. Como todo flujo el agua subterránea se moviliza desde zonas de recargas a zonas de descargas, en las cuales según las condiciones del terreno pueden moverse con velocidades que van desde metro/año a cientos de metro/día, dando como resultado tiempos de residencia largos, generando grandes volúmenes de almacenamientos, aspectos característicos del agua subterránea. (Custodio, 1983)

La hidrogeología de la ciudad de Guatemala se divide en dos cuencas las cuales son las que dotan principalmente a la ciudad de Guatemala. Las cuencas nororiental y sur del Valle de la Ciudad de Guatemala están compuestas principalmente de rocas Los volcanes forman importantes reservorios de agua subterránea para la gente de la región. Pero eso el acuífero del norte se compone principalmente de rocas carbonatadas y rocas intrusivas, muestra diferentes características. (Herrera, 2016)

Todas estas características sumadas a un mercado inmobiliario con tendencias en construcción de edificaciones verticales y la alta demanda de agua potable, la poca factibilidad de abastecimiento por medio de EMPAGUA y la nula ley de aguas en Guatemala, creo una dependencia a la construcción de pozos mecánicos para saciar la necesidad de agua en edificios y todo eso causa un daño profundo a los acuíferos del cual se extrae el agua.

Esto es visible en estudios realizados por la arquitecta Morales (2012) en pozos donde se han llegado a medir el descenso del nivel freático, como un ejemplo a lo del año 2000 al año 2011 en un pozo ubicado en Vista Hermosa, Guatemala se observó un descenso de 113.29 metros del nivel freático, cifras alarmantes que a la fecha actual sigue disminuyendo, teniendo la posibilidad que si no se implementa alguna zona de recarga hídrica el potencial hídrico de la mayoría de las cuencas donde se aprovecha el agua subterránea llegara a su finalización pronto. Actualmente el nivel freático de vista hermosa el cual oscila entre 300 a 530 metros de profundidad.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se planteará el problema que se tratará resolver en el desarrollo de la investigación.

3.1. Descripción del problema

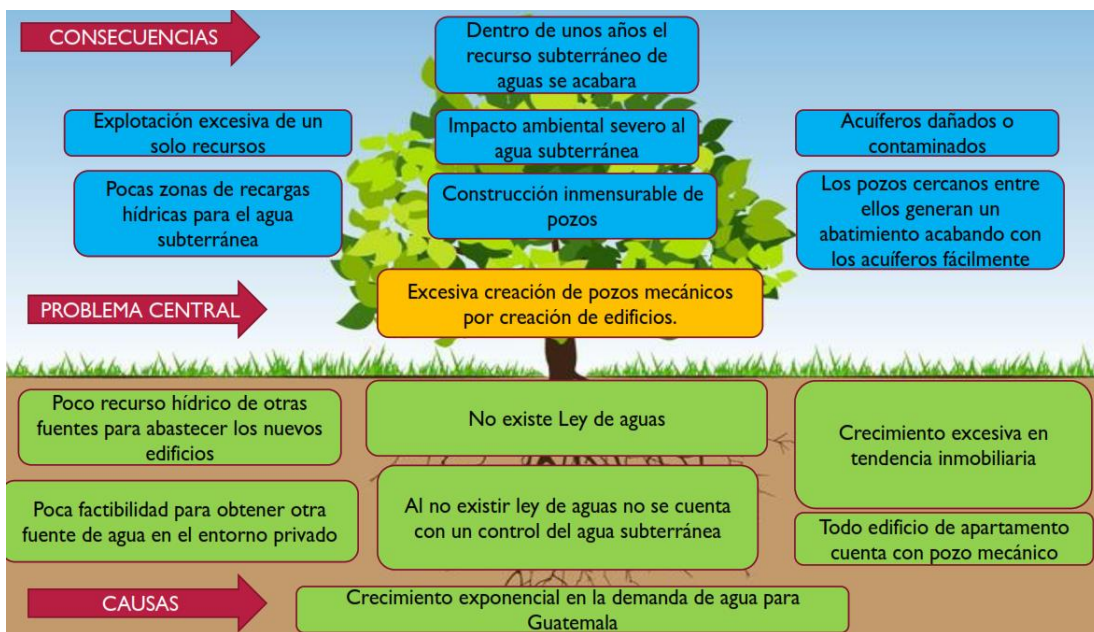
Uno de los factores que permiten el desarrollo de la vida en la tierra es el agua, en la cual la cantidad de vida que el plantea pueda mantener depende de la cantidad de agua disponible y está siendo renovada constantemente mediante el ciclo hidrológico. La vida se sustenta mediante el agua por lo cual el ser humano primitivo siempre fue capaz de buscar un fácil acceso a la misma mediante la captación de agua superficial, pero con el crecimiento demográfico, el abastecimiento por fuentes de agua superficial resulto ser escasa, dando la necesidad de buscar nuevas fuentes de agua, surgiendo ahí el aprovechamiento del agua subterránea junto con la implementación de los primeros pozos.

Es por eso que con un crecimiento demográfico exponencial desde un inicio del desarrollo humano se han tratado de concebir nuevas formas de abastecimiento y dotación de agua potable que en la actualidad de Guatemala solo existen unas pocas formas de abastecimiento de agua potable, el agua municipal y el abastecimiento mediante un pozo propio, es por ello que se presentó un drástico aumento en la construcción de pozos mecánicos, sumado a eso y a la nula ley de aguas de Guatemala, el impacto ambiental que genera la múltiple construcción sucesiva de pozos mecánicos en Guatemala es grande, es por ello que se busca tener un dato visible del impacto ambiental que genera un

pozo mecánico y desarrollar una forma de mitigación ambiental al momento de realizar una dotación de agua con un pozo subterráneo.

Todo lo anterior sumado al incremento demográfico y por ende el crecimiento de la necesidad de vivienda, la poca viabilidad de obtener agua constante en nuevos condominios o edificios tendrá alguna relación con la falta de una ley que regula el agua y se conoce el posible daño que pueden causar a los acuíferos el tener un pozo en cada edificio que se desarrolló recientemente.

Figura 1. **Árbol del Problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft PowerPoint 365.

3.2. Formulación del problema

A continuación, en las siguientes viñetas se presentan las preguntas que se formularon las cuales serán necesarias para el desarrollo del proyecto.

- **Pregunta central**

¿Qué impacto ambiental positivo o negativo tiene la construcción de un pozo mecánico?

- **Preguntas auxiliares**

- ¿Existe forma de mitigación ambiental al momento o posterior a la construcción un pozo mecánico?
- ¿Cuál es la relación directa en la construcción de pozos mecánicos y la falta de ley que regule el agua en Guatemala?
- ¿Los acuíferos se ven afectados por la construcción sucesiva y excesiva de pozos mecánicos?

3.3. Delimitación del problema

El área de la evaluación ambiental, tiene como objetivo el desarrollo y determinación de los impactos ambientales y medidas de mitigación, enfocado en un pozo mecánico ubicado en la zona 14 de la Ciudad de Guatemala y su efecto sobre el agua subterránea local.

4. JUSTIFICACIÓN

La ubicación del agua subterránea es situada debajo del nivel freático y satura completamente los poros o fisuras naturales del terreno, el cual el agua subterránea fluye de forma natural a la superficie de distintas formas, tales como cauces fluviales, manantiales e inclusive por vertientes. Como todo flujo el agua subterránea se moviliza desde zonas de recargas a zonas de descargas, en las cuales según las condiciones del terreno pueden moverse con velocidades que van desde metro/año a cientos de metro/día, dando como resultado tiempos de residencia largos, generando grandes volúmenes de almacenamientos, aspectos característicos del agua subterránea.

Todas estas características sumadas a un mercado inmobiliario con tendencias en construcción de edificaciones verticales y la alta demanda de agua potable, la poca factibilidad de abastecimiento por medio de EMPAGUA y la nula ley de aguas en Guatemala, creo una dependencia a la construcción de pozos mecánicos para saciar la necesidad de agua en edificios y todo eso causa un daño profundo a los acuíferos del cual se extrae el agua.

El objeto de este trabajo radica principalmente en determinar el impacto ambiental que genera la construcción de un pozo mecánico e inferir sobre un posible daño ambiental al aplicar este mismo estudio, pero en varios pozos mecánicos sucesivos ya que actualmente todos los edificios son abastecidos mediante pozos mecánicos de su propiedad, y determinar si existe alguna forma de mitigación ambiental para dichos pozos.

Ya que el agua es sinónimo de vida y si no se llega a cuidar o mitigar el daño ambiental que el ser humano genera, el potencial hídrico de la región terminara acabándose y por ende toda condición de vida llegara a empeorar.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar el impacto ambiental y las medidas de mitigación que tiene la perforación de un pozo mecánico ubicado en la zona 14 del Municipio de Ciudad de Guatemala.

5.2. Específicos

- Realizar una matriz de evaluación de los impactos ambientales que conlleva la construcción de pozos mecánicos en zona 14.
- Determinar las medidas de mitigación ante los impactos ambientales que produce la perforación de un pozo mecánico en zona 14.
- Estimar la relación entre la construcción de pozos mecánicos y el impacto generado por el abatimiento a los acuíferos de la Ciudad de Guatemala considerando la hidrogeología local.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En este trabajo se pretende identificar el impacto ambiental que genera la perforación de un pozo mecánico y las formas de realizar una mitigación ambiental al mismo. El estudio de impacto ambiental y medidas de mitigación de la perforación de un pozo mecánico permitirá tener una base de los daños que se provocan a los acuíferos y permitirá replicarlo en el perímetro de la Ciudad de Guatemala para llevar a cabo un control de aguas y evitar la sobre explotación del agua subterránea.

Para poder llevar a cabo el estudio, primero se debe contar con el permiso de la desarrolladora del proyecto, el cual ya posee. Como segundo punto empezar la evaluación de impacto ambiental y desarrollar formas de mitigación al momento de perforar un pozo. Encontrar parámetros que puedan repetirse en un pozo convencional y determinar los daños que se generan la implementación de pozos mecánicos cercanos.

El aprovechamiento del agua subterránea es un tema implementado por la humanidad desde hace siglos por la creciente necesidad de una dotación estable de agua potable, eso sumado al incremento poblacional y por ende el aumento del comercio inmobiliario, se empezaron a implementar pozos mecánicos en todo edificio posible. Esto se debe a la nula ley de aguas de Guatemala. Debido a eso es necesario empezar con estudios y medidas de mitigación ambiental para dar a conocer el daño a los acuíferos de nuestro país.

Derivado que la Maestría de Energía y Ambiente, existe el área de evaluación y medidas de mitigación ambiental este proyecto de estudio ambiental

y medidas de mitigación por la perforación de un pozo mecánico contribuye en realizar un análisis del daño que puede llegar a provocar la perforación sucesiva y sin control de pozos mecánicos y a su vez desarrollar algunas formas de mitigar ese impacto ambiental.

Al ser un profesional con conocimientos de la ingeniería civil y conocimiento técnico ambiental, este proyecto complementa la identificación de amenazas e impactos ambientales que resulta de la perforación de pozos mecánicos para la dotación de agua potable en edificios de apartamentos en la Ciudad de Guatemala y por lo tanto determinar los riesgos y formas de mitigación al momento de implementar un pozo mecánico.

7. MARCO TEÓRICO

En los siguientes incisos se establecieran las bases teóricas que fundamentan la investigación teniendo dos ejes principales, en primer lugar, el agua subterránea y como segundo punto los estudios de impacto ambiental y medidas de mitigación.

7.1. Agua subterránea

Según Gonzales (2015) el agua subterránea es uno de los componentes básicos del sistema hidrológico natural para el sustento de la vida en la tierra, y los humanos hemos logrado utilizarla para abastecernos de agua. La misma puede ser encontrada con un constante flujo en el subsuelo, creando así los acuíferos como medio de retención de la misma.

El conocimiento del agua subterránea requiere de una comprensión de los factores hidrogeológicos que controlan tanto el almacenamiento como el flujo. Sin embargo, el agua se encuentra almacenada en cuencas que a lo largo del tiempo han sido rellenadas por sedimentos que constituyen estructuras heterogéneas. (Navarrete, 2015)

7.1.1. Distribución del agua subterránea

La forma en la que está conformada el agua subterránea es a través de lo que se conoce como perfil del subsuelo, el cual presenta dos zonas diferentes, las cuales cuentan cada una con características hidráulicas diferentes y se

subdividen en varios niveles o franjas conocidas como zonas saturadas y zonas no saturadas.

7.1.1.1. Zona no saturada

Se presenta inmediatamente bajo la superficie terrestre y contiene en sus poros agua y aire en proporciones variables. Funciona como un gran reservorio, que descarga agua a la zona saturada cuando es recargado por algún evento, pudiendo durar dicha descarga un período relativamente largo después de haber cesado la entrada superficial (Chávez, 2005). Esta zona se subdivide de la siguiente forma:

- Zona de raíces: es la zona más superficial, en la cual se pueden encontrar raíces vivas y muertas, vegetación e inclusive cadáveres de animales. En la característica hidráulica resalta por su gran tasa de cambio en el contenido de humedad presente debido a la evaporación y posibles precipitaciones.
- Zona intermedia: en este punto el agua trata de llegar a la zona saturada mediante la percolación, pero puede ser frenada por la tensión superficial que se genera, reteniéndola en dicho punto.
- Zona de ascenso capilar: es la parte más profunda de la zona no saturada, la cual se define como la parte más baja de la zona no saturada. Se extiende desde la superficie freática hasta el límite de ascenso capilar. El espesor de esta zona depende del tamaño de los poros del suelo. El agua en esta zona se encuentra bajo tensión, o presión hidráulica negativa. (Chávez, 2005)

7.1.1.2. Zona saturada

Es donde todos los poros se llenan de agua y se someten a presión hidrostática. Se llena con toda el agua que logró ingresar a la zona no saturada. (Calla, 2015) Esta área es aquella donde ya es posible encontrar agua subterránea.

7.1.2. Tipos de acuíferos

La distribución adecuada de las aguas subterráneas requiere formaciones con alta porosidad y permeabilidad, capaces de almacenar y transportar agua de manera significativa. Como líneas de transmisión, transportan agua subterránea desde áreas de recarga a lagos, arroyos y pantanos, manantiales, pozos y otras obras de arte hidráulicas. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda la recarga y, a la vez, almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción. (Custodio, 1983)

7.1.2.1. Acuíferos libres

La característica principal de este tipo de acuífero es que cuenta con un suelo impermeable, cuya capa superior se encuentra bajo presión atmosférica. Tiene la forma más simple de recarga y ocurre directamente a través de la infiltración de agua de lluvia en zonas no saturadas o incluso en ríos o lagos. Su principal inconveniente es que pueden verse gravemente afectados por la sequía, ya que los niveles de agua fluctúan con el cambio climático. (Gonzales, 2015)

7.1.2.2. Acuíferos confinados

A diferencia de los acuíferos libres, están confinados en todos los aspectos por formaciones geológicas de baja permeabilidad, comúnmente denominadas acuíferos confinados. Su característica principal es que la presión en el acuífero es superior a la presión atmosférica.

7.1.2.3. Acuíferos semiconfinados

Son similares a los confinados con la particularidad que solo uno de sus niveles corresponda a un estrato confinante, ya sea el estrato confinante el superior o el inferior, la recarga de los acuíferos semiconfinados resulta más lenta por su índice de infiltración al tener un estrato semipermeable.

7.1.2.4. Acuíferos colgados

Se hace referencia a este tipo de acuífero cuando existen acumulaciones de agua subterránea con un flujo de poco constante de forma lateral ubicada principalmente encima del nivel freático. Los acuíferos colgados deberán pertenecer a alguno de los tres tipos de acuíferos, sin embargo, debido a las escasas dimensiones comunes es habitual clasificarlos por separado. (Molinero, 2005.)

7.1.2.5. Acuífugo

Es aquella formación geológica que no puede contener ni transmitir el agua subterránea dado a que ninguno de sus poros se encuentra intercomunicados. Algunos ejemplos de esta formación geológica son las rocas metamórficas inalteradas y no fracturadas.

7.1.2.6. Acuícluido

Son formaciones geológicas semi permeables que permiten el flujo de agua, pero de una forma más lenta, permitiendo almacenar agua, pero siendo más difícil de extraerla en términos de tiempo.

7.1.2.7. Acuíardo

Formación que puede contener agua, pero no permite la circulación dentro de la misma, impidiendo el flujo a otras partes del subsuelo dando como única solución para el aprovechamiento del mismo la implementación de equipos de bombeo.

7.1.3. Hidrogeología local

Al planificar la perforación, es importante realizar estudios hidrogeológicos locales para comprender las capas del suelo y estimar la profundidad del acuífero más cercano. Actualmente en zona 14 de la ciudad de Guatemala, el nivel freático se encuentra a una profundidad de 200 a 300 con un nivel dinámico de 400 a 500 pies de siendo común las perforaciones pe pozo de hasta 1000 pies de profundidad para tener un aprovechamiento óptimo del mismo. A su vez cuenta con estratos como pómez, relleno volcánico, aglomerado volcánico, estratos arcillo arenosos, areno arcillosos, sedimento fluvial y conglomerados.

7.1.4. Pozos mecánicos

El pozo mecánico es una perforación vertical, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial. (Custodio, 1983)

7.1.4.1. Tipos de pozos

Existen distintos tipos de pozos los cuales son utilizados principalmente para la extracción y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, por lo cual existen diversos tipos de pozos los cuales se clasifican en tres tipos diferentes, pozos poco profundos, pozos profundos y pozos artesianos.

7.1.4.1.1. Pozos poco profundos

La característica principal presentada por este tipo de pozos recae en su poca profundidad y un diámetro relativamente pequeño, alcanzando una profundidad máxima de 50 pies y diámetros de hasta 60 cm y suelen emplearse herramientas manuales para su excavación y desarrollo.

7.1.4.1.2. Pozos profundos

Al contrario de un pozo poco profundo, este tipo de pozo supera con facilidad los 50 pies de profundidad para aprovechar los acuíferos más lejanos a la superficie o en condiciones donde no se encuentra un nivel freático a pocos pies de profundidad, se requiere maquinaria especializada y algún método de perforación que va desde rotación, percusión y rotopercusión.

7.1.4.1.3. Pozos artesianos

Son pozos con la característica única de contener agua subterránea en un acuífero confinado, que por sus condiciones geológicas se encuentra bajo presión, capaz de sostener una presión interna sobre la superficie, la cual al ser perforada es capaz de ascender al terreno donde se realizó la perforación. (Vélez, 2011)

7.1.4.2. Métodos de perforación de pozos

La tecnología de perforación ha seguido evolucionando con el tiempo, a tal punto de lograr el desarrollo de varios métodos de perforación muy ligados con el avance de la industria petrolera. La explotación de aguas subterráneas a menudo implica sistemas de perforación básicos, como sistemas de percusión o sistemas rotatorios, de los cuales han surgido una serie de métodos, siguiendo los principios básicos de cada uno o ambos sistemas en los que opera el sistema. (Tzunux, 2013)

7.1.4.2.1. Perforación con sistema de percusión

Uno de los sistemas de perforación más antiguos conocidos, Este sistema en la actualidad ha sido remplazado con métodos más modernos y eficientes por las nuevas tecnologías de rotación y de rotopercusión, es usado principalmente en para pozos pocos profundos, se fundamenta en el principio de caída libre de un peso en sucesión de golpes con la broca de perforación hacia el fondo del pozo.

7.1.4.2.2. Perforación con sistema de rotación

Método que se dio a conocer en la época egipcia, donde se utilizó para la perforación de rocas densas y rocas de las pirámides. Este sistema se especializa en la fragmentación de la roca por diversos esfuerzos combinados, entre corte y compresión mediante una broca que gira sobre un eje.

7.1.4.2.3. Perforación con sistema de rotopercusión

Sistema de perforación que implementa ambos métodos convencionales, percusión y rotación. Es el método más reciente de todo empleado inicialmente en la época industrial. Al ser una combinación de los métodos tradicionales de perforación, se basa en el movimiento ascendente y descendente que transmite toda su energía en el barreno que genera movimiento rotacional para si lograr perforar formaciones y estratos geológicos altamente densos.

7.1.5. Puesta en marcha de un pozo mecánico

Para poder decir que un pozo logre su función principal de suministrar agua a la población después de haber realizado la perforación, es importante realizar un proceso específico, los cuales van desde el entubado del pozo o conocido como la terminación del pozo, realizar el aforo, limpieza y desinfección del pozo y para finalizar la instalación del equipamiento eléctrico, de bombas y paneles.

7.1.5.1. Terminación del pozo

Para Ibarra (2016) “La terminación de un pozo es esencial para la productividad en la comunicación para el acuífero con el mismo, por lo tanto, es importante seleccionar la terminación que da la mayor productividad debido a las diferentes características del yacimiento” (p. 30). Existen varios tipos de terminaciones, cada una es más eficientes en condiciones específicas, siendo las más comunes las presentes:

- Agujero descubierto.
- Agujero revestido.
- Entubado con tubería ranurada.
- Entubado con tubería de producción.
- Terminación inteligente.

7.1.5.2. Desarrollo del pozo

Lo que se suele conocer como desarrollo del pozo se debe realizar antes del encamisado o entubado del pozo, ya que resultara un trabajo complicado de realizar a futuro, ya que los lodos sobrantes generados por los fluidos de perforación y los finos en la parte más profunda pueden llegar a contaminar los acuíferos o los equipos de bombeo que se instalaran.

Dentro de la perforación del pozo queda un líquido lodoso formado por varios materiales de la formación, este líquido se saca un tubo de diámetro a elegir según el diámetro de perforación que se realizó, que en el fondo tiene una compuerta que cuando es sumergida por medio de un cable hasta el fondo del pozo, se llena de agua con lodo y es extraída por medio del motor de la máquina. Este proceso es repetitivo hasta que el técnico tome una muestra, la evalúe y disponga terminar la limpieza. Este proceso puede durar varias horas. (Aguirre, 2007)

7.1.5.3. Desinfección del pozo

La Organización Mundial de la Salud -OMS- respalda la desinfección del agua potable en las situaciones de emergencia. Existen varias formas de hacerlo, y la más común es el tratamiento con cloro, dado que queda un nivel residual del desinfectante en el agua luego de la cloración. El cloro tiene las ventajas de estar fácilmente disponible en los mercados locales, ser sencillo de medir y de usar, y de fácil disolución en el agua. Sin embargo, es necesario tener cuidado en su manipulación, ya que es una sustancia tóxica y que puede ser peligrosa en grandes concentraciones.

7.1.5.4. Pruebas de aforo

La prueba final de aforo requiere equipos de bombeo, tuberías con válvulas de compuerta, que exista alguna acometida para el equipo de bombeo que se usara para la prueba y manómetros. Se utilizan los datos de PSI, profundidad y el abatimiento para calcular el nivel estático, el nivel dinámico y los galones por galón. minuto para completar la tabla de potencia. Hay dos tipos de pruebas: una prueba corta con una duración mínima de 6 horas y una prueba larga con una duración mínima de 24 horas. (Aguirre, 2007)

7.2. Impacto ambiental y medidas de mitigación

Uno de los términos básicos para el estudio ambiental radica en los términos evaluación de impacto ambiental y las medidas de mitigación ambiental. Por este término, se designan diferentes metodologías, procedimientos o herramientas, que se emplean por agentes públicos y privados en el campo de la Planificación y la Gestión Ambiental. Se utiliza para describir los impactos ambientales resultantes de los proyectos de ingeniería, de obras o actividades

humanas de cualquier tipo, tanto incluyendo los impactos causados por los procesos productivos, como los productos de esa actividad. También se emplea, para describir los impactos que pueden provenir de una determinada instalación a ser implantada, así como para designar el estudio de los impactos, que ocurrieron o están ocurriendo como consecuencia de un conjunto de acciones humanas. (Sánchez, 2005)

7.2.1. Impacto ambiental

Se le llama así a los factores que tiene el potencial de alterar el entorno que rodea a la flora, fauna y personas.

7.2.1.1. Tipos de impacto ambiental

Antes de establecer los diferentes tipos de impacto ambiental es importante considerar que algunos efectos o actividades humanas son de suma complejidad debido a las interacciones de los ecosistemas, es muy poco probable que la acción estudiada tenga un solo efecto ambiental. Es por eso que es importante considerar no solo la reacción que se tendrá por la acción o proyecto estudiado, si no como otros proyectos y actividades puedan altear el ecosistema.

Los efectos ambientales pueden llegar a considerarse simples cuando los efectos del proyecto no tienen una interacción adicional con otros efectos ambientales. Pero pueden considerarse impactos acumulativos cuando un efecto simple llega a produce a lo largo del tiempo.

Existen también tiempos de impactos ambientales los cuales se catalogan según el tiempo que tara en manifestarse los efectos en el ecosistema, dichos impactos son conocidos como impacto a corto, mediano y largo plazo, donde sus

efectos se manifiestan en menos de un año, de uno a cinco años y otro se presentan a más de 5 años respectivamente. También pueden catalogarse por la duración del impacto causado, siendo temporales cuando tienen una duración limitada y permanentes cuando sus efectos se presentan continuamente a lo largo del tiempo.

Finalmente se catalogan como reversibles cuando pueden llegar a su estado natural después de un tiempo sin intervención humana, impactos recuperables cuando no es reversible, pero aplicando algunas medidas de contingencia puede llegar a recuperarse y finalmente un efecto mitigable.

7.2.1.2. Contaminación de acuíferos

El problema con más repercusión ambiental que puede tener la actividad de perforación para la prospección de agua, resulta ser la posibilidad de contaminación del acuífero que será aprovechado, los problemas se dan desde la infiltración de un fluido de perforación al acuífero, la infiltración del agua superficial contaminada, por lixiviado de residuos e inclusive por las actividades agrícolas y finalmente que se filtre aguas negras a un pozo con acceso a un acuífero.

7.2.1.3. Reducción del nivel freático de la ciudad de Guatemala

En la ciudad de Guatemala la dotación de agua a la población lo realiza la empresa EMPAGUA. la compañía de agua tiene a su disposición 7 fuentes distintas para suministrar agua, en el año 1982 se terminó el plan maestro de abastecimiento de agua para la ciudad de Guatemala y se estimó que el acuífero subterráneo localizado en el valle de la ciudad de Guatemala posee una recarga

de aproximadamente de unos 100 a 120 millones de metros cúbicos por año y se definió que una explotación de 1 metro cubico por segundo durante un periodo de diez a quince años sería recomendable desde el punto de vista hidrológico y técnico. (Coló, 2014)

Pero para determinar ese aprovechamiento no se considere el aumento drástico de la población dentro del perímetro de la ciudad, sumando al incremento inmobiliario, la reducción de recargas hídricas y la nula ley de aguas que permite la construcción privada de pozos para la explotación de acuíferos, los niveles freáticos se han reducido drásticamente llegando a descender un promedio de 5 a 7 metros cada año.

7.2.2. Medidas de mitigación

Parte primordial de un estudio de impacto ambiental una vez ya se determinará los posibles efectos o actividades que pueden llegar a dañar el ambiente, es fundamental encontrar una forma de reducir, mitigar o anular dicho impacto. En el caso de un aprovechamiento hídrico, si se llega a realizar un plan de gestión ambiental adecuado, se ejecuta según la legislación ambiental local y sobre todo se busca una forma de infiltrar agua de forma artificial o natura, para evitar la disminución piezométrica del agua, el impacto que generara al perforar y aprovecharse el agua a por medio del mismo, se podría lograr un impacto ambiental mínimo.

7.2.2.1. Plan de gestión ambiental

En Guatemala el plan de gestión ambiental es solicitado por el ministerio de ambiente y recursos naturales como documentación adicional al momento de

realizar un estudio de impacto ambiental, el cual debe ser elaborado por consultores profesionales ambientales.

El plan de gestión ambiental busca reforzar las bases ambientales al momento de ejecutar un proyecto y ponerlo en marcha, todo esto dentro del marco ambiental para la disminución de impactos ambientales para lograr prevenir o mitigar los impactos negativos y asegurar la compatibilidad ambiental del proyecto.

7.2.2.2. Legislación ambiental de Guatemala

La Legislación ambiental en Guatemala es regida por el ministerio de ambiente y recursos naturales apoyado por el gobierno guatemalteco, inicio con el decreto numero 68-86 el cual trata sobre la protección y mejoramiento del medio ambiente, sumado al incremento en el desarrollo ambiental a nivel mundial, se dictaminaron nuevos acuerdos gubernamentales creando los reglamentos de evaluación, control y seguimiento ambiental.

En los acuerdos gubernativos 137-2016 y 317-2019 y finalmente en el acuerdo ministerial 402-2021 se implementó el listado taxativo de proyecto, industrias o actividades con el fin de poder crear una base técnico descriptiva para establecer categorías para predictivas o correctivas.

En cuanto al manejo de legislativo del agua, Guatemala no cuenta con una ley de aguas, por lo que no existe una normatividad específica, pero el Código Civil guatemalteco tiene solo algunos artículos sobre el uso del agua, más específicamente los artículos 581 al 585.

7.2.2.3. Recargas hídricas

Se considera que una forma de implementar una mitigación ambiental al aprovechamiento subterráneo mediante un pozo de captación es a través de poner en marcha un plan de recarga hídrica ya sea de forma natural o artificial, para reducir al máximo el descenso del nivel fítico del acuífero en explotación.

El termino recarga hídrica se refiere a la fase del ciclo hidrológico el cual el agua regresa al acuífero, por lo general el proceso natural es mediante la infiltración en zonas altamente permeables de las precipitaciones locales o mediante la infiltración de las aguas superficiales existentes e inclusive puede llegar a darse mediante el trasiego de un acuífero a otro. Recientemente se han desarrollado métodos para recargas hídricas artificiales.

8. ÍNDICE DE PROPUESTA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua subterránea

1.1.1. Distribución del agua subterránea

1.2. Acuíferos

1.2.1. Acuífero libre

1.2.2. Acuífero confinado

1.2.3. Acuífero semiconfinado

1.2.4. Acuífero colgado

1.2.5. Acuífugo

1.2.6. Acuíardo

1.2.7. Acuícluido

1.3. Hidrogeología local

1.4. Pozos mecánicos

1.4.1. Tipo de pozos

1.4.2. Métodos de perforación de pozos

- 1.5. Puesta en marcha de un pozo mecánico
 - 1.5.1. Terminación del pozo
 - 1.5.2. Desarrollo y limpieza del pozo
 - 1.5.3. Desinfección del pozo
 - 1.5.4. Pruebas de aforo
- 1.6. Impacto ambiental
 - 1.6.1. Tipos de impacto ambiental
 - 1.6.2. Contaminación de acuíferos
 - 1.6.3. Reducción del nivel freático
- 1.7. Medidas de mitigación
 - 1.7.1. Plan de gestión ambiental
 - 1.7.2. Legislación ambiental de Guatemala
 - 1.7.3. Recargas hídricas

- 2. DESARROLLO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
 - 2.1. Estudio de impacto ambiental de un pozo mecánico
 - 2.2. Medidas de mitigación de un pozo mecánico

- 3. RESULTADOS

- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

En los siguientes incisos se describen la metodología que se implementara para el realizar la investigación.

9.1. Características del estudio

El presente estudio es de tipo cualitativo ordinario. En este se realizará un estudio de impacto ambiental y medidas de mitigación ambiental de un pozo mecánico, para determinar los impactos negativos al momento de la perforación del pozo y el equipamiento del mismo y desarrollar formas para la mitigación ambiental del mismo.

El alcance será de tipo exploratorio ya que se investigará y analizara la información recopilada del estudio de impacto ambiental y medidas de mitigación para definir los impactos negativos que se genera al desarrollar un pozo mecánico, sus medidas de mitigación y la importancia ambiental que tienen. El diseño adoptado será de tipo experimental, dado que es necesario identificar parámetros ambientales de un pozo mecánico.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio es un pozo mecánico ya ejecutado que se usara para abastecer apartamentos de alta gama ubicado en la zona 14 de la Ciudad de Guatemala, donde se realizara un estudio de impacto ambiental y medidas de mitigación de dicho pozo para lograr determinar los impactos negativos en el rubro ambiental.

9.3. Variables

En los siguientes incisos se describen las variables necesarias para el desarrollo de la investigación.

9.3.1. Recursos hídricos

Es importante determinar la situación del recurso hídrico subterráneo ya que es la principal forma de dotación de agua a nivel general en Guatemala, por lo que para fines de este estudio se considerara una forma de reducir los impactos negativos que el ser humano genera a través del aprovechamiento de los acuíferos.

9.3.2. Impacto ambiental

Son los efectos negativos al ambiente que se generan por alguna acción humana, y es regulada mediante la legislación ambiental local.

9.4. Fases del estudio

Las fases del estudio se dividirán en 4 etapas: Donde se buscará recopilar información bibliográfica y obtener los estudios técnicos realizados para la perforación del pozo. La elaboración del estudio de impacto ambiental y medidas de mitigación, elaboración de propuestas de mejoras con base a los resultados obtenidos

9.4.1. Fase 1: revisión bibliográfica

El fin de esta fase es lograr recopilar toda la información posible para el óptimo desarrollo teórico previo a la elaboración del estudio de impacto ambiental, además de recopilar los estudios técnicos ya elaborados del proyecto en estudio.

9.4.2. Fase 2: desarrollo del estudio de impacto ambiental

Posteriormente a la obtención de estudios técnicos se realizará el estudio de impacto ambiental específico del pozo mecánico en estudio, incluyendo las medidas de mitigación ambiental propuestas. La culminación de esta fase logrará la verificación de unos de los objetivos específicos planteados.

9.4.3. Fase 3: interpretación de los resultados

Se llevará a cabo la interpretación de los resultados obtenidos en el estudio, lo cual nos guiará a culminar con los objetivos específicos pendientes.

9.4.4. Fase 4: propuesta de mejora

Finalmente se elaborarán propuestas de mejora para futuros desarrollos de pozos, para reducir los impactos de esta actividad en lo mínimo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Una vez obtenido todos los datos del estudio de impacto ambiental, se procederá a realizar diversas matrices para determinar los factores ambientales que más afectan y determinar una forma de mitigarlos, para eso se usaran las siguientes herramientas:

- Documentación recaudada del estudio de impacto ambiental
- Árbol de acciones ambientales del proyecto
- Inventario ambiental
- Árbol de factores ambientales
- Matrices de causa-efecto
- Valoración cualitativa de impactos ambientales
- Programa de vigilancia ambiental

Tabla I. Machote de matriz de Leopold

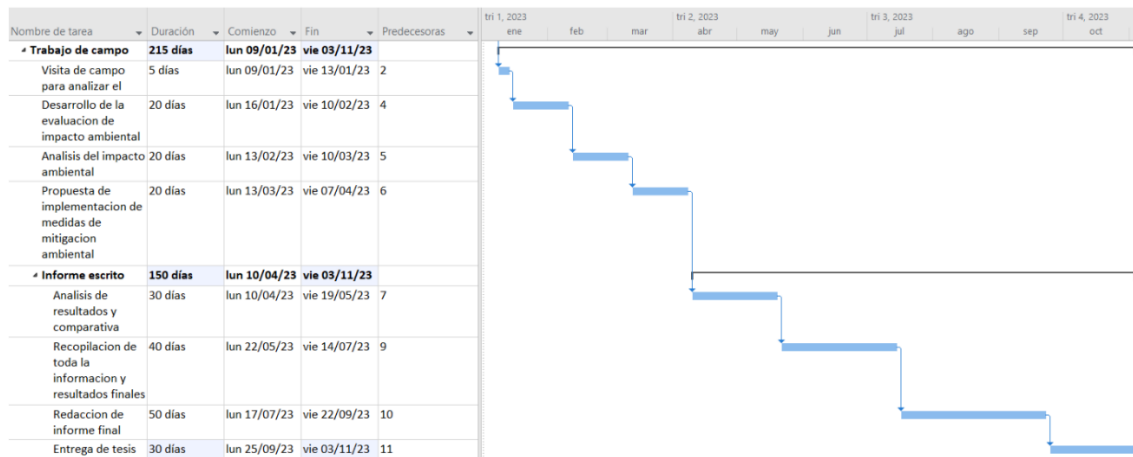
		Magnitud: 1-10 Importancia: 1-10		ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS								Total Acciones	
		1. Perforación de un pozo				2. Operación del pozo							
Valoración	Magnitud: 10 = Grande, 5 = Mediano, 1 = Pequeña	Importancia 1 = Nada, 10 = Alta	Preparación de terreno uso de maquinaria para realizar la perforación Usos de fluidos de perforación Perforación de un pozo Encamisado del pozo	Total Acción 1	Limpeza y desarrollo del pozo	Acometida Eléctrica	Consumo energético	Abatimiento generado	Descenso del nivel freático	Total Acción 2	Total Acciones		
				FACTORES AMBIENTALES	B. Condiciones físicas y químicas biológicas	1. Tierra	Suelos	0					
Superficial	0										0	0	
2. Agua	Subterránea	0										0	0
	3. Atmósfera	Calidad del aire (gases, partículas)	0									0	0
C. Factores culturales	4. Procesos	Avenidas	0								0	0	
		Árboles	0								0	0	
	1. Flora	Productos agrícolas	0									0	0
		1. Uso de la tierra	Área Comercial		0							0	0
	Bosques		0								0	0	
	Agricultura		0								0	0	
	2. Aspectos culturales	Patrones culturales (estilo de vida)	0									0	0
		Empleo	0									0	0
		Salud y seguridad	0									0	0
	3. Facilidades y actividades humanas	Red de transporte	0									0	0
Manejo de residuos		0									0	0	
Redes de servicios		0								0	0		
Relaciones Ecológicas	Aumento del área arbustiva	0								0	0		
TOTALES				0						0	0		

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

11. CRONOGRAMA

En esta sección se plasma el cronograma de trabajo y los tiempos de cada actividad para la ejecución de este trabajo.

Figura 2. Cronograma de trabajo



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project 365.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se plasmará la factibilidad de la investigación a desarrollar utilizando los siguientes recursos.

12.1. Recursos financieros

El trabajo de graduación presente, se realizará en un edificio en construcción ubicado en la zona 14 de la Ciudad de Guatemala, y se realizará con recursos propios del estudiante. Siendo la investigación cualitativa, se requerirán de los siguientes recursos

Tabla II. **Recursos financieros necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Tiempo de servicios profesionales invertidos para la ejecución de la investigación	Q. 6000.00
Insumos necesarios para trabajo de gabinete	Q. 500.00
Insumos necesarios para trabajo de campo	Q. 1500.00
Viáticos de combustible y alimentación	Q. 4000.00
Total	Q. 12000.00

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la inversión necesaria para el desarrollo de la investigación y siendo en su totalidad aportados por el estudiante, se considera factible la elaboración del estudio.

12.2. Recursos humanos

En lo concerniente con el recurso humano para el óptimo desarrollo del proyecto únicamente es necesario, el tiempo del estudiante y el asesor para poder culminar la investigación.

12.3. Herramientas

La herramienta básica para el desarrollo de la investigación será una computadora portátil y los estudios técnicos que ya fueron realizados previamente como requisito para la licencia de construcción del proyecto.

12.4. Permisos

Se cuenta el permiso de la desarrolladora del proyecto para ingresar al proyecto y desarrollar la investigación con tema en su pozo mecánico, brindando la información solicitada sin ningún inconveniente.

13. REFERENCIAS

1. Aguirre, F (2007). *Manual para las oficinas municipales de planificación - OMP- y corporación ediles para la toma de decisión en la selección de un pozo mecánico* (Tesis de licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.
2. Argueta, 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 licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.
3. Bardales, W. (2010). *Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del Valle de Monjas, Jalapa, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Calla, M (2015). *Sistema de tratamiento de aguas residuales y sus consecuencias en la contaminación del agua subterránea en la ciudad universitaria de la UANCV en el 2015* (Tesis de licenciatura). Universidad Andina “Néstor Cáceres Velázquez”, Perú. Recuperado de <https://1library.co/document/q5w3pm7q-sistema-tratamiento-residuales-consecuencias-contaminacion-subterranea-ciudad-universitaria.html>.

5. CNA, C (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Natural. Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>.
6. Custodio, E., y Llamas, M. (2001). *Hidrología subterránea (Vol. 2)*. Barcelona: Omega.
7. de la Paz, L. (2018). *Modelación y prospección de la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana: Estudio de caso Ciudad de Guatemala* (Tesis de doctorado). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12203/1/Leonel%20Ignacio%20de%20la%20Paz%20Gallardo.pdf>.
8. Gonzales, O. (2015). *Sistema de agua potable y perforación de pozos mecánicos en arquitectura* (Tesis de arquitectura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7339/1/OSCAR%20RENE%20GONZALEZ%20HERNANDEZ.pdf>.
9. Herrera, I., Manzo, D. y Hernández, E. (2016). *Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcanicos de la república de Guatemala*. Guatemala: DIGI. Recuperado de http://iia.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/05/Acuiferos_volcanicos_Guatemala.pdf.

10. Monroy, N. (2011). *Análisis de la situación jurídica actual de los recursos hídricos en la república de Guatemala y la necesidad de crear la ley de aguas y rectoría del recurso hídrico* (Tesis de licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_9145.pdf.
11. Muñoz, N (2019). *Vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental en dos localidades de Quintana Roo, México* (Tesis de maestría). Centro de investigación científica de Yucatán A.C., México. Recuperado de https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1512/1/PCA_M_Tesis_2019_Nayla_Mu%c3%b1oz_Euan.pdf.
12. Navarrete, I. (2015). *¿Qué Aspectos Positivos Conlleva El Manejo De Bolsas Biodegradables?* (Tesis de licenciatura). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://studylib.es/doc/4758782/%C2%BFqu%C3%A9-aspectos-positivos-conlleva-el-manejo-de-bolsas>.
13. Reyes, M. (2018). *Estudio de prefactibilidad para la implementación de un sistema de alimentación de mantos acuíferos subterráneos en el municipio de Mixco* (Tesis de licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8856/1/Marvin%20Arnoldo%20Reyes%20Reyes.pdf>.

14. Tzunux, V (2011). *Planificación para el aprovechamiento de agua subterránea perforando un pozo mecánico en residenciales ensenada de san isidro zona 16 ciudad de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3603_C.pdf.

15. Vélez, M., Ortiz, C. y Vargas, M. (2011). *Las aguas subterráneas un enfoque practico. Colombia: Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas.* Recuperado de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Aguas-subterraneas-enfoque-practico.PDF>.

14. APÉNDICES

Estas páginas contienen información elaborada por el estudiante no debe continuar con la numeración de figuras y tablas

Apéndice. **Matriz de coherencia**

Problema	Objetivo general	Marco teórico	Hipótesis	Variables	Indicadores
identificar impacto ambiental que se genera al perforar un pozo mecánico	Evaluar el impacto ambiental y las medidas de mitigación que tiene la perforación de un pozo mecánico ubicado en la zona 14 del municipio de la ciudad de Guatemala.	Agua subterránea Tipos de acuíferos Hidrogeología local Tipos de pozos	El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis	Recurso hídrico Impacto ambiental	Demanda de agua Agua subterránea Medidas de mitigación Leyes ambientales
Pregunta principal	Objetivos específicos				
¿Qué tanto impacto ambiental tiene la construcción pozos mecánicos?	1. Realizar una matriz de evaluación de los impactos ambientales que conlleva la construcción de pozos mecánicos en zona 14	Métodos de perforación de pozos Puesta en marcha de un pozo mecánico Impacto ambiental			
PREGUNTAS SECUNDARIAS					
1. ¿Existe alguna forma de mitigación ambiental a la hora de construir un pozo mecánico?	2. Determinar las medidas de mitigación ante los impactos ambientales que produce la perforación de un pozo mecánico en zona 14	Medidas de mitigación			
2. ¿Cuál es la relación entre el incremento de construcción de pozos mecánicos y la falta de una ley que regula el agua en Guatemala?	3. Estimar la relación entre la construcción de pozos mecánicos y el impacto generado por el abatimiento a los acuíferos de la ciudad de Guatemala considerando la hidrogeología local.				
3. ¿Afecta a los acuíferos la construcción sucesiva de pozos mecánicos?					

Fuente: elaboración propia.

15. ANEXOS

En esta sección se detallan los los documentos que complementan la investigación.

Anexo 1. Datos técnicos del pozo

		ODT: PP-0472-2017
Calzada La Paz 6-30 Zona 5 -Tel.: (502) 2382-5000, Fax (502) 2382-5001- Guatemala Ciudad, Guatemala, C. A.		
Propietario :	DESARROLLOS CATORCE, S. A.	
Ubicación Pozo:	EDIFICIO AVITA FASE II, 5 AV. ENTRE 13 Y 14 CALLE ZONA 14, GUATEMALA.	
Fecha de inicio:	17/10/2017	Fecha finalización: 09/12/2017
Perforadora:	F - 2	Metodo: ROTATIVO
Perforador:	MARTIN TUBAC CHOCON	
Diámetro:	8 PULGADAS	Profundidad pozo: 1,060 PIES
Nivel Estático:	316 PIES	Nivel de bombeo: 473.25 PIES
Producción :	151 G.P.M.	Duración bombeo: 22:00 HORAS
Profundidad de la bomba:	630' con 15 etapas, 40 H.P.	Rejilla Ranurada de Fábrica 500 Pies A.C.
Observaciones:	SELLO SANITARIO DE 250 A 270 PIES. FILTRO DE GRAVA 270 A 1,060 PIES.	
Diseñado Por:	A S / O E / J C	Tipo Nariz del Pozo: PUNTA ABIERTA

Fuente: daho POZOS. (2017). *Estudio técnico de perforación de pozos.*

