



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL  
AGUA ICA-NSF Y VULNERABILIDAD ACUIFERA DE UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO EN  
EL ÁREA DEL POZO DE COLONIA RESIDENCIAL, SAN JOSÉ EL PLACER SAN JOSÉ  
VILLA NUEVA**

**Lourdes Sabrina Caal Torres**

Asesorada por el MSc. Ing. José Ramón López López

Guatemala, julio de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA-NSF Y VULNERABILIDAD ACUIFERA DE UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO EN EL ÁREA DEL POZO DE COLONIA RESIDENCIAL, SAN JOSÉ EL PLACER SAN JOSÉ VILLA NUEVA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LOURDES SABRINA CAAL TORRES**  
ASESORADA POR EL MSc. ING. JOSÉ RAMÓN LÓPEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA AMBIENTAL**

GUATEMALA, JULIO DE 2022



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 Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pablo César Aníbal Saravia Solares
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
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 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA-NSF Y VULNERABILIDAD ACUIFERA DE UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO EN EL ÁREA DEL POZO DE COLONIA RESIDENCIAL, SAN JOSÉ EL PLACER SAN JOSÉ VILLA NUEVA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 19 de abril de 2022.

**Lourdes Sabrina Caal Torres**





EEPM-PP-0613-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

Director  
Williams G. Álvarez Mejía  
Escuela De Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Ing. Álvarez

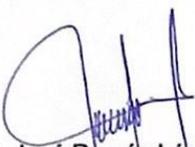
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

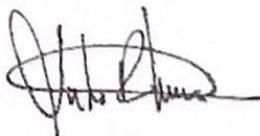
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA NSF Y VULNERABILIDAD ACUIFERA DE UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO EN EL ÁREA DEL POZO DE COLONIA RESIDENCIAL, SAN JOSÉ EL PLACER SAN JOSÉ VILLA NUEVA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Estudios de calidad de las aguas subterráneas**, presentado por la estudiante **Lourdes Sabrina Caal Torres** carné número **201114468**, 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 Gestion De Recursos Hidrogeologicos.

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.

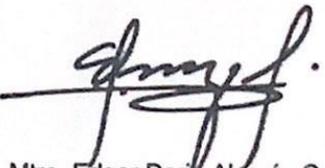
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. José Ramón López López  
*José Ramón López López*  
Magister Científico en Ingeniería Sanitaria  
Ingeniero Civil  
Col. 11593

  
Mtro. Julio Roberto Luna Aroche  
Coordinador(a) de Maestría



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







EEP.EIQ.0613.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica 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 INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA NSF Y VULNERABILIDAD ACUIFERA DE UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO EN EL ÁREA DEL POZO DE COLONIA RESIDENCIAL, SAN JOSÉ EL PLACER SAN JOSÉ VILLA NUEVA**, presentado por el estudiante universitario **Lourdes Sabrina Caal Torres**, 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. Williams G. Álvarez Mejía; Mg.I.Q., M.U.I.E.  
Director  
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, abril de 2022



LNG.DECANATO.OI.552.2022

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA-NSF Y VULNERABILIDAD ACUIFERA DE UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO EN EL ÁREA DEL POZO DE COLONIA RESIDENCIAL, SAN JOSÉ EL PLACER SAN JOSÉ VILLA NUEVA**, presentado por: **Lourdes Sabrina Caal Torres**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por haberme permitido realizar una más de mis metas y por las bendiciones en mi vida.

### **Mis padres**

Por haberme guiado atreves de valores y ejemplos en la perseverancia. Han sido uno de los pilares más importantes en mi vida.

### **Mis hermanas**

Mildred y Jessica Caal, que con su apoyo y motivación constante dan alegría a mi vida.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
<b>Mis amigos y familia en general</b>	A todas aquellas personas que estuvieron a lo largo de mi proceso profesional, la compañía, apoyo y ánimos fueron claves para no perder objetivos.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. José Ramón López López por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
<b>Departamento Estratégico de Gestión Ambiental CEMPRO</b>	A todo el equipo de trabajo por el apoyo, conocimiento y soporte para mi formación profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO .....	19
7.1. Descripción del municipio de Villa Nueva .....	19
7.1.1. Población .....	19
7.1.2. Topografía .....	19
7.2. Descripción del área de estudio .....	20

7.2.1.	Condiciones geológicas.....	21
7.2.1.1.	Rocas ígneas.....	21
7.2.1.2.	Rocas metamórficas.....	22
7.2.1.3.	Rocas sedimentarias.....	22
7.3.	Sistemas Hidrogeológicos sectorizados.....	22
7.3.1.	Sectorización en un sistema hidrogeológico .....	23
7.3.2.	Propuestas metodológicas para sectoriza un acuífero. .....	23
7.4.	Agua .....	25
7.4.1.	Ciclo del agua.....	25
7.4.1.1.	Evaporación .....	26
7.4.1.2.	Condensación .....	26
7.4.1.3.	Precipitación .....	26
7.4.1.4.	Infiltración .....	26
7.5.	Conservación y dinámica del agua .....	27
7.6.	Agua subterránea.....	27
7.6.1.	Distribución vertical del agua subterránea zonas saturadas y no saturadas.....	28
7.7.	Monitoreos de control y seguimiento.....	29
7.7.1.	Objetivos del control y seguimiento.....	29
7.7.2.	Muestreos representativos .....	29
7.8.	Calidad del agua .....	30
7.8.1.	Antecedentes de legislación para la evaluación de la calidad de agua para consumo humano .....	30
7.8.2.	Acuerdo Ministerial 523 – 2013 .....	33
7.8.3.	Normas COGUANOR.....	33
7.8.3.1.	Norma Técnica Guatemalteca 2900.....	33
7.8.3.1.1.	Parámetros.....	34
7.8.3.2.	Norma Técnica Guatemalteca 29006 .....	35

7.9.	Índices de calidad de agua .....	36
7.9.1.	Determinación de los índices del agua .....	36
7.9.2.	Métodos y parametrización de ICA- NSF .....	36
7.9.3.	Interpretación de resultados para el índice de calidad ICA-NSF.....	38
7.10	Vulnerabilidad acuífera .....	39
7.10.1.	Modelación para la representación de la vulnerabilidad con método DRASTIC .....	39
7.10.2.	Utilización del método DRASTIC .....	40
7.10.2.1.	Parámetros a utilizar en método DRASTIC... ..	40
7.10.2.1.1.	Profundidad del agua ...	41
7.10.2.1.2.	Recarga Neta .....	41
7.10.2.1.3.	Medio del acuífero .....	41
7.10.2.1.4.	Medio del suelo .....	41
7.10.2.1.5.	Topografía .....	42
7.10.2.1.6.	Impacto de la zona vadosa .....	42
7.10.2.1.7.	Conductividad hidráulica .....	42
7.10.3.	Parámetros numéricos para valorización en método DRASTIC .....	43
7.10.4.	Índice DRASTIC .....	46
7.10.4.1	Rangos de vulnerabilidad .....	47
7.11	Sistemas de información geográficos.....	47
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	49

9.	METODOLOGÍA .....	55
9.1.	Características del estudio .....	55
9.2.	Unidades de análisis .....	56
9.3.	Variables .....	57
9.4.	Fases del estudio .....	60
9.4.1.	Fase 1: exploración bibliográfica .....	61
9.4.2.	Fase 2: gestión o recolección de la información.....	61
9.4.3.	Fase 3: recolección de muestras, trabajo de campo	61
9.4.4.	Fase 4: obtención y análisis de información.....	63
9.4.5.	Fase 5: interpretación de información .....	64
9.4.6.	Fase 6: establecimiento de base de datos .....	64
9.4.7.	Fase 7: resultados esperados .....	65
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	67
11.	CRONOGRAMA .....	69
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	71
13.	REFERENCIAS .....	73
14.	APÉNDICES .....	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Imagen de elevación del municipio de villa nueva.....	20
2.	Esquema de sectorización acuífera .....	24
3.	Ciclo del agua.....	25
4.	Distribución vertical del agua subterránea.....	28
5.	Resumen de dinámica legal para el uso de agua para fines de consumo humano .....	32
6.	Gráfica de proceso: fase 4 .....	63
7.	Ejemplo de mapa de vulnerabilidad por método DRASTIC.....	64

### TABLAS

I.	Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.....	34
II.	Características químicas que debe tener el agua para consumo humano .....	34
III.	Valores guías microbiológicos que debe tener el agua para consumo humano .....	35
IV.	Factores de ponderación ICA-NSF .....	37
V.	Interpretación de los valores del índice ica-nsf para consumo humano .....	38
VI.	Escala y clasificación de la profundidad.....	44
VII.	Escala y clasificación de la recarga neta.....	44

VIII.	Tipo de materiales y clasificación del medio del acuífero .....	44
IX.	Tipo de materiales y clasificación del medio del suelo....	45
X.	Escala y clasificación de la topografía .....	45
XI.	Tipo de materiales y clasificación para zonas vados .....	45
XII.	Escala y clasificación para la conductividad hidráulica .....	46
XIII.	Rango de vulnerabilidad .....	47
XIV.	Tabla de variables.....	57
XV.	Tabla de variables: criterio y definiciones .....	58
XVI.	Monitoreo de agua de pozo .....	62
XVII.	Profundidad de pozo, naturaleza del suelo, recarga, litografía acuífera y pendiente .....	62
XVIII.	Matriz de coherencia.....	65
XIX.	Cronograma de actividades .....	69
XX.	Recursos financieros para la investigación .....	72

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
E	Este
°C	Grados Celsius
N	Norte
O	Oeste
$\epsilon$	Porosidad



## **GLOSARIO**

<b>Celsius</b>	Grado o parámetro de medición que refiere a la temperatura.
<b>DRASTIC</b>	Método para determinar vulnerabilidad acuífera dependiendo de siete parámetros.
<b>ICA</b>	Índice de calidad del agua.
<b>Permeable</b>	Acción que permite el paso de sustancia líquida hacia capa inferior.
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible.
<b>LMA</b>	Límite máximo admisible.
<b>SIG</b>	Sistema de información geográfico.



## RESUMEN

El diseño de investigación plantea el monitoreo y la evaluación de la calidad de agua y la vulnerabilidad acuífera en un sector condominal, tomando como muestra el residencial San José El Placer; ubicado en la jurisdicción del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala. El monitoreo y la evaluación de la calidad de agua y la vulnerabilidad acuífera son conceptos muy pocos utilizados para la valoración en cuanto a la vigilancia y mantenimiento a mantos acuíferos de los sistemas hidrogeológicos. Por lo cual, el objetivo del presente diseño de investigación es presentar las bases para la realización del estudio, en la obtención de la evaluación de la calidad del agua y vulnerabilidad acuífera; con ello establecer la base de datos para futuras propuestas de conservación del manto acuífero de la zona.

El seguimiento de la calidad de agua en Guatemala se basa en las legislaciones y normativas provenientes del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y otras entidades gubernamentales. Las mismas en las cuales se crea el establecimiento de normas técnicas para el control y vigilancia de parámetros, como lo es la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR); normando los límites permisibles para agua de consumo humano por medio de la NTG 29001 (COGUANOR NTG 29001, 2013). El cumplimiento a dicha legislación y normativa se debe de tomar en consideración, debido que el sujeto del estudio es el agua para uso y consumo humano.

Así mismo, para el análisis y evaluación de la vulnerabilidad acuífera se estará trabajando por el método DRASTIC (Aller, L., Benett, T., Lehr, J., y Petty, R., 1987), el cual incluye parámetros que permiten valorizar de manera adecuada

la dinámica conservativa a la que está expuesto un acuífero. Exponiendo con mejor comprensión, el riesgo que puede estar teniendo el manto acuífero donde se realizan las extracciones de agua para la distribución, uso y consumo humano.

En síntesis, el planteamiento del diseño de investigación que a continuación se presenta; tiene como objetivo cimentar las bases para realizar los estudios de control, seguimiento y monitoreo del índice de calidad, calidad del agua y vulnerabilidad acuífera del agua subterránea a estudiar, la cual es extraída y distribuida para uso y consumo humano en un complejo residencial.

## HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

- Hipótesis conceptual

El índice de calidad del agua extraída del acuífero de tipo colgado del residencial San José El Placer, debe de estar sujeto a tratamiento previo a su distribución para el cumplimiento de las normas COGUANOR NTG 29001 para agua de uso y consumo humano.

- Hipótesis nula

El índice de calidad del agua extraída del acuífero de tipo colgado del residencial San José El Placer, no debe de estar sujeto a tratamiento previo a su distribución; debido a que cumple la norma COGUANOR NTG 29001 para el agua de uso y consumo humano.



# 1. INTRODUCCIÓN

El residencial donde se efectuará el estudio tiene como nombre San José El Placer, ubicado en la zona 2 del municipio de Villa Nueva. El mencionado complejo habitacional administra el recurso hídrico a sus residentes por medio de una asociación, la cual administra tres pozos de extracción de agua subterránea; distribuyendo el líquido vital a más de 600 viviendas. El complejo cuenta con más de 30 años de existencia, por lo que la demanda per cápita del líquido aumenta proporcionalmente al crecimiento poblacional y habitacional de la zona.

Los sistemas y ciclos hidrogeológicos, son temas de importancia para el desarrollo de actividades en áreas residenciales, debido a que se debe de tener en consideración la planificación en donde el factor de la fuente de abastecimiento del recurso agua sea considerado; teniendo en cuenta la reserva para la disposición y su conservación. Por ello se hace imperativo la investigación sobre el tema de recursos hidrogeológicos; específicamente calidad del agua de un acuífero y la vulnerabilidad al cual está expuesto por la demanda de adquisición del recurso.

El desconocimiento de los alcances e importancia en los temas de abastecimiento y aprovechamiento hídrico son consecuencias de la poca o nula información e investigación; esto ocasiona impactos a los sistemas hidrogeológicos de un área, por actividades desmedidas y sin valoraciones. Por tal motivo, la valoración de la vulnerabilidad acuífera propuesta está en conformidad para que mediante al resultado, se acorte la brecha del desconocimiento en la aplicación de metodologías y cimentación de precedentes para investigaciones futuras.

El presente diseño de investigación expone la base para la identificación del índice de calidad y la calidad del agua sustraída del sistema hidrogeológico, del cual se realiza la extracción de agua para uso del complejo residencial. Así mismo, mediante el método denominado DRASTIC; se determinará la vulnerabilidad a la que está expuesto el acuífero. Todo ello, permitirá conocer la realidad en cuanto índices de calidad del agua subterránea y vulnerabilidad del sistema del acuífero.

## 2. ANTECEDENTES

El control, monitoreo de la calidad de agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico es regido por las actividades de proceso, en donde el agua es el principal insumo. La identificación del uso del recurso hídrico es clave para el conocimiento de la regulación en cuanto a la calidad del líquido vital. Los temas de extracción, uso, consumo y control; son claves para el conocimiento de la actividad que un sistema hidrogeológico está expuesto. Por ello, es imperativo ampliar conocimiento respecto a los temas antes mencionados; teniendo con ello una proyección amplia para en los temas de agua subterránea.

La extracción y consumo del agua en el departamento de Guatemala, según el estudio realizado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América, se tiene que “aproximadamente el 64 por ciento del suministro de agua para el área metropolitana de Guatemala proviene de recursos de agua subterránea” (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de America, 2020, p. 28 - 29), esto indica que la mayor parte de la población del departamento obtiene su dotación per capital por medio de acuíferos, en los cuales, su agua de extracción; deben ser controlados por parámetros de calidad, COGUANOR NTG 29001 (COGUANOR NTG 29001, 2013).

En la tesis *Estudio sobre la calidad de agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala*. (Ramírez, 2003) hace aporte de los estudios de calidad de agua subterránea del valle de la ciudad capital de Guatemala, indicando que el agua subterránea puede ser afectada en cuanto a su calidad por la interacción natural de agua-roca en la actividad de infiltración. Manifestando que, mediante el monitoreo de forma periódica de acuíferos, podría

ser utilizado para conocer el reflejo de la calidad y vulnerabilidad que este puede presentar en cuanto aceptabilidad del recurso para consumo humano.

En Guatemala se han realizados trabajos de investigación respecto a índices de calidad de agua de varias fuentes del recurso, tales como la tesis *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos e la zona 11, Mixco, Guatemala.* (Gramajo, 2004) donde se realizó por métodos de monitoreo la caracterización de agua proveniente de un acuífero en la zona. Con dichas investigaciones fortalecen el conocimiento sobre la dinámica de la calidad de agua que se puede obtener en el sector de estudio.

En el 2021 en la publicación de Red Interamericana de Academias de Ciencias, respecto a la calidad del agua en las Américas; hace referencia que la calidad del agua en cuerpos subterráneos puede ser alterada por medio de disoluciones de medio geológico donde se encuentra ubicada y son menos vulnerables todos aquellos sistemas hidrogeológicos que por su ubicación se encuentren cercanos a fallas, fracturas, estructuras tectónicas y conformación del sustrato de capa geológica proveniente a formaciones volcánicas. Por lo que la calidad del agua puede llegar a ser un indicador que refleja el paso geológico de filtración y también un parámetro para identificación de vulnerabilidad acuífera.

La existencia de trabajos basados en la identificación de la vulnerabilidad e índices de calidad de las aguas subterráneas, ha sido poca; derivado a que el acceso a la información es escaso y los financiamientos son pocos debido a la metodología que se debe de implementar. La metodología para la identificación de valorización vulnerable de un acuífero ha sido variable y transformable en cuanto al tiempo, (Foster y Hirata, 1991) indicaban que la vulnerabilidad se entiende en cuanto a la calidad del agua, términos subterráneos, como la

sensibilidad que puede llegar a obtener debido a una carga contaminante introducida o expuesta y esto llega a determinar con facilidad las características intrínsecas del acuífero.

Concluyendo que la metodología para el avance en la caracterización hidrogeológica y su valoración en la posible afección de las aguas subterráneas, para con ello verificar el impacto que este mismo pueda causar al momento de su explotación.

El tema de vulnerabilidad acuífera y la utilización de modelos; especialmente la metodología DRASTIC. Se ha usado con anterioridad para conocer el estado de un acuífero en el departamento de Guatemala. El artículo científico de la revista Agua, Saneamiento y Ambiente con el título Distribución espacial de la vulnerabilidad potencial a contaminación del acuífero noroeste de ciudad de Guatemala (González-Celda, 2020) donde explica la modelación para la determinación potencial de la vulnerabilidad a contaminación de unos de los acuíferos ubicados en el noroeste de la ciudad de Guatemala, teniendo en cuenta parámetros para la metodología DRASTIC, fuentes de investigación con datos de estudios hidrológicos previos y la utilización de modelos realizados por instituciones locales.

En el proceso de investigación, se identificó que dicha modelación de vulnerabilidad el método DRASTIC ha sido usado en países latinoamericanos con proyecciones similares a el país donde se realiza la propuesta de estudio. Tomando como referencia la *tesis Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí* (Almanza, 2015) en donde se documentó el proceso y el procedimiento de como poder evaluar dichos parámetros del índice y la vulnerabilidad basados en el

método (Aller et. al., 1987) y desarrollándolo con modelación SIG para determinar el comportamiento de los parámetros.

Varios de los enfoques de antecedentes de estudio en donde se han utilizado el método DRASTIC antes mencionados son para la verificación de las vulnerabilidades de acuíferos, obteniendo trazabilidad de una posible contaminación mediante determinaciones del estudio (Martínez, Delgado, y Fabregat, 1998). Cada día se han desarrollado más los softwares como herramientas de apoyo para la divulgación de datos por medios gráficos y sistematizados estadísticamente.

El servicio geológico de Estados Unidos, por sus siglas en inglés USGS (*United States Geological Survey*), ha realizado distintas publicaciones incentivando el uso de modelaciones para identificar vulnerabilidades en mantos acuíferos. En el artículo científico sobre el análisis y simulación del hundimiento regional que acompaña la extracción de agua subterráneas y compactación del sistema de acuíferos susceptibles en los Estados Unidos Galloway y Sneed, (2013), hace referencia que mediante modelaciones se pudo determinar la vulnerabilidad a las que estaban sometidos algunas redes del sistema. Y que la clave para poder llegar a varias de las conclusiones del estudio, fueron los factores de la data correcta y el uso de *softwares* para sintetizar estadísticamente procesos gráficos.

El presente diseño de investigación sintetiza el conocimiento en cuanto a los estudios realizados para la identificación de índices de calidad, calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de mantos freáticos; continuando con el aporte de análisis científico de los resultados obtenidos por metodologías comprobadas.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Garantizar el recurso hídrico es un reto constante, en el cual el conocimiento de los índices de calidad de agua y vulnerabilidad acuífera en espacios de extracción de agua subterránea han sido temas claves para la vigilancia control y seguimiento del abastecimiento adecuado del recurso agua.

Por lo cual, la dinámica del conocimiento y el seguimiento a dichos temas han estado empezando a tomar dinámicas para su investigación; precisamente en aquellas áreas de asentamiento poblacional, por su crecimiento, puedan incurrir hacia alguna alteración en una actividad básica de un sistema hidrogeológico sectorizado; como lo es la actividad de sobreexplotación del suministro hídrico por medió del abastecimiento por pozos.

Los pozos para extracción de agua mediante explotación acuífera dentro de los residenciales pueden llegar a ser muy comunes si la geografía y las necesidades del líquido vital se hacen presentes. Por ello es importante conocer cual vulnerable es el acuífero, respecto a la extracción y que índice de calidad a evaluar, para conocer y determinar características en donde se evalúa el estado del mismo; así como, del agua extraída previo a la conducción y distribución entre la residencia.

- Descripción del problema

Durante los últimos años los residenciales han ido en incremento y el número de residentes de los complejos habitacionales antiguos también han presentado un crecimiento considerable. Ante la demanda del recurso agua, los complejos residenciales antiguos han frecuentado problemas de bajo o falta de presión en el suministro para la distribución y uso en actividades domésticas. Lo cual crea conflicto por la falta del recurso.

Por otra parte, el desconocimiento de la calidad del agua extraída para la distribución, uso y consumo humano; llega a ser una variante interesante y esencial, no solo porque se habla de agua para consumo humano, sino para tener proyecciones que ayudan al momento de la determinación de la vulnerabilidad a la que el acuífero está sometido por medio del sistema hidrogeológico sectorizado en donde está localizado el acuífero explotado.

En conclusión, el desconocimiento de la calidad del agua suministrada y la poca o nula valorización del acuífero; puede ser de conflicto debido a que se está extrayendo sin un conocimiento de conservación que puede tener como resultado escases del líquido vital.

- Formulación del problema

Es importante conocer varias aristas de la posible problemática a tratar, por lo cual es indispensable conocer y tener una pregunta principal en la cual se basará el desarrollo del tema.

- Pregunta central

¿Qué factores definen la calidad del agua y la vulnerabilidad del manto acuífero donde existe extracción de agua por medio de pozos para un residencial?

- Preguntas auxiliares

- ¿Qué parámetros del ICA-NSF existen en el agua extraída del pozo?
- ¿La calidad del agua es apta para consumo humano en la distribución y extracción que realiza el residencial para sus consumidores?
- ¿Cuál es el índice de la vulnerabilidad acuífera?
- ¿Se tienen datos previos a la realización de un posible estudio de identificación de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera?

- Delimitación del problema

La vulnerabilidad acuífera y el conocimiento de la calidad del agua mediante indicadores (índices) es uno de los métodos por los que se puede llegar a conocer el sistema de un ciclo hidrogeológico, mediante el cual se determina el valor que el acuífero presente y con el dato de valorización, proponer medidas de conservación con los resultados generados.

El área de estudio se encuentra geológicamente ubicada en un cerro, en el cual se encuentran diversas colonias de tipo residencial, así como una subestación del Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y fábricas. San José

Villa Nueva, es la aldea en donde se encuentra el residencial de estudio; ubicada dentro del municipio de Villa Nueva en el departamento de Guatemala. Los datos climáticos característicos de la zona son los siguientes descritos por López como (López, 2004): clima templado, temperatura anual de 20 grados Celsius y humedad en 50 %; con características en la mayor parte del suelo de tipo de origen volcánico representando suelos proyectualmente permeables.

En el residencial en donde se efectuará el estudio administra 3 pozos de extracción de agua el pozo principal se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 14°32'29.93"N 90°35'22.63"O, 14°32'18.43"N 90°35'27.47"O y 14°32'22.79"N 90°35'24.04"O (tomados en georreferencia), los cuales han abastecido de agua durante más de 30 años a los habitantes del residencial. Dicho suministro es regulado y/o administrado por una asociación que es electa por los mismos residentes del lugar.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica en la línea de estudios de la calidad de las aguas subterráneas de la Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos de la Escuela de Posgrado, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Aportando al conocimiento de la vulnerabilidad acuífera con la variable del análisis de la calidad de agua del acuífero explotado en una zona residencial, conociendo con ello los índices que puedan determinar las propiedades de las rocas existentes alrededor del manto acuífero y aportando una base de datos para proyectos futuros, según resultados obtenidos. La investigación se trabajará con el método científico y analítico; con un alcance correlacional.

La propuesta de investigación tendrá un aporte académico y de respaldo técnico, debido a que la obtención de los datos y resultados; generará conocimiento en cuanto al estudio del sistema hidrogeológico de la zona. Del mismo modo, otorgará proyecciones visuales por medio de mapas del estado de acuífero, del cual interactúan 3 pozos de abastecimiento.

Guatemala como país ha tenido índices poblacionales en incremento, según el censo del año 2018 realizado por el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE, 2019) se obtuvo de resultados que la población era de 14,901,286 de habitantes proyectándose actualmente en el año 2022 con 17,974.00 habitantes, proyectando actualmente en Villa Nueva a 545,734 habitantes; siendo el 2.51 % de la población en el país con 120,133 hogares que consideran la obtención del agua como servicio básico. En la nota realizada por Ana Lucía Gonzales para el periódico La Hora indica lo siguiente “Villa Nueva: 43

fuentes, 42 pozos mecánicos en el área urbana y un nacimiento en área rural, hasta 2013” (González, 2021, p. 23), refiriéndose a la dinámica de la obtención del agua en departamento descrito.

Por lo anterior, en referencia a la población existente en el municipio de Villa Nueva, la cual en su mayoría obtiene el recurso hídrico por abastecimiento con la actividad de extracción por medio de pozos, indica que la explotación hídrica a los acuíferos de la zona está en creciente demanda y dicha actividad; al no tener estudios de vulnerabilidad y seguimiento de control de la calidad del líquido extraído, puede estar sujeto a riesgo por desconocimiento de la dinámica de dicho sistema hidrogeológico.

El desconocimiento de dicha dinámica lleva a temas de vulnerabilidad, la cual es importante en referencia a su conocimiento; así como, la evaluación para una buena gestión del recurso hídrico en zonas donde se pretende la proyección relativa de tener siempre agua. Por ello, con la investigación se pretende proyectar la vida útil del acuífero en condiciones normales, para que, con las proyecciones realizadas, se puedan tomar decisiones a futuro respecto a la protección y cuidado del agua subterránea. Así mismo, evitando gastos a futuro por la obtención del líquido vital.

Con la utilización de modelaciones mediante parámetros, se obtendrán resultados apegados a la realidad. Debido que se realizarán monitoreos de calidad de agua para verificar valores de índices de la calidad; así como, la comparación con la normativa vigente del país respecto a la calidad del agua para consumo humano. Así mismo, se realizará investigación de información de estudios previos, para conocer el tipo de suelo y roca que se encuentra en la zona; procurando obtener dicha información de fuentes secundarias verificables, como organizaciones gubernamentales.

Guatemala, aún no ha logrado identificar el tema de la relevancia de la vulnerabilidad acuífera en zonas residenciales antiguas, mismas que han obtenido un crecimiento poblacional y puedan estar en riesgo de acabar con el recurso acuífero sin saberlo. Por ello el estudio del análisis de la vulnerabilidad planteará un precedente para el conocimiento e identificación del tema hidrogeológico y su explotación.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Evaluar la calidad del agua y la vulnerabilidad acuífera para identificar datos base en propuestas futuras para conservación del manto acuífero.

### **5.2 Específicos**

- Identificar parámetros de ICA-NSF y factores que puedan afectar la variabilidad en la conservación del acuífero.
- Evaluar la calidad de agua para consumo humano para conocer bajo que valores se distribuye el agua al residencial, mediante la comparativa de la COGUANOR norma técnica guatemalteca 29001.
- Determinar el índice de vulnerabilidad acuífera por el método DRASTIC y su representación espacial.
- Establecer archivo de datos base para uso futuro y pueda ser usado para conservar un registro histórico.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

A partir del presente diseño de investigación se aportará más información respecto al tema de la calidad del agua en el acuífero específico que se usa para extracción del recurso hídrico. Tomando en cuenta, la calidad de parámetros que se identificarán; con ello, realizar la comparativa para determinar su favorecimiento para el consumo y uso humano. Así mismo se establecerá una base de datos sobre los hallazgos realizados durante la investigación.

Con el tema de la vulnerabilidad acuífera, se tiene un alcance de la concientización del uso adecuado por medio de los datos obtenidos; evitando sobreexplotaciones y actividades que afecten los ciclos del sistema hidrogeológico.

Al determinar lo anterior, se busca dar a conocer la realidad del estado de la calidad del agua del acuífero; así como, la vulnerabilidad a la que está expuesto. Con el conocimiento del índice de calidad del agua distribuida y la vulnerabilidad presente del acuífero, se establecerá un precedente para el entendimiento de la dinámica del cuidado de un acuífero y las bases para que en próximas investigaciones ayude a la búsqueda de actividades y aspectos que podría poner en riesgo el agua del acuífero en la zona residencial.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Descripción del municipio de Villa Nueva**

El municipio de Villa Nueva es uno de los 17 municipios que conforman el departamento de Guatemala, ubicado en el sur de la ciudad. El municipio surge en el período hispánico y se instituye como poblado mediante el decreto de la Asamblea Constituyente del Estado de Guatemala en 1839. Fundado en el año 1763, Villa Nueva se caracteriza por ser uno de los municipios con menor extensión dentro del departamento de Guatemala con extensión territorial de 114 km<sup>2</sup> (López, 2004).

#### **7.1.1. Población**

Durante el último censo realizado en el 2018 se obtuvieron los datos de la población total del municipio, siendo 433,734 habitantes; teniendo el 48 % de habitantes con género masculino y el 52 % de habitantes con género femenino (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2018). La población del municipio mediante los datos estadísticos del censo comprende la mayor parte de habitantes entre las edades 15 a 24 años, siendo una población joven. El idioma predominante en el municipio es el español y la población maya dentro del municipio es del 5 % de la población, según censo del 2018.

#### **7.1.2. Topografía**

El territorio de Villa Nueva está comprendido por una extensión territorial del 114 km<sup>2</sup>, este municipio se encuentra ubicado en una elevación promedio de



debido que la colonia fue asentada en las faldas de la cadena de montañas que conecta hacia el municipio de Milpas Altas.

### **7.2.1. Condiciones geológicas**

Villa Nueva al estar ubicado aproximadamente en la altitud de los 1,330 metros sobre el nivel del mar, se caracteriza por tener accidentes geográficos como cerros, montañas, ríos, zanjones, quebradas y litorales de parcelamientos. El mencionado municipio no cuenta con volcanes, pero por la cercanía del volcán de Pacaya (aproximadamente 15 kilómetros), en cuanto a su composición geológica; va orientada a la existencia de composiciones geológicas de roca ígnea y metamórfica del cuaternario y rocas terciarias plutónicas.

Entre los tipos de rocas que pueden ser encontradas en la extensión municipal son: Tobas, coladas de lava, material lahárico, sedimentos volcánicos; así como, renos, esquistos cloríficos y granatíferos, gneises de cuarzo, migmatitas y mármol (Ovalle, 2011).

#### **7.2.1.1. Rocas ígneas**

Las rocas ígneas son descritas o llamadas así debido a que su término latín es *ignis*, el cual hace referencia a fuego. Este tipo de rocas son de origen eruptivo o magmático. Entre este tipo de roca se divide en tres subtipos, tales como; rocas volcánicas o efusivas, teniendo de referencia el origen de su generación el cual es por magma ubicado en profundidad y solidificado bajo superficie en presión atmosférica baja. Como lo son, las rocas hipabisales; las cuales se originan en escasa profundidad y enfriadas de una manera con presión de escape y las rocas plutónicas, las cuales son cristalizadas en profundidad de una manera lenta y bajo presión sin la consideración de escape de fluidos

magmáticos. Las últimas dos rocas son consideradas rocas intrusivas (Spikermann, 2018).

#### **7.2.1.2. Rocas metamórficas**

Este tipo de roca poseen características idénticas y de rasgos comunes debido a el equilibrio mineralógico que presentan. Algunas de ellas son encontradas en su forma natural con formaciones prismáticas debido a la paragénesis. Las rocas metamórficas también se dividen debido a una consideración y punto de vista genética; rocas neptúnicas (principalmente marinas), Rocas volcánicas (efusivas e hipabisales) y rocas plutónicas (migmatitas y graníticas).

#### **7.2.1.3 Rocas sedimentarias**

Las rocas de tipo sedimentaria son resultado de procesos de meteorización mecánica y química de rocas con distintas conformaciones. Este proceso hace que se genere sedimento y sea depositado y compactando por el paso de los años en un banco del material comprimiéndose por el peso generado de más material sedimentado o presiones subyacentes que ayuden a la cementación del material en el transcurso del tiempo. Los tipos de rocas sedimentarias pueden ser: rocas detríticas o rocas químicas (Tarbuck y Lutgens, 2005).

### **7.3. Sistema hidrogeológico sectorizado**

Los sistemas hidrogeológicos parten de la identificación de varias variables; en las cuales se pueden tener en cuenta la interacción de la litografía geológica y la dinámica de la hidrología en el lugar donde se estudios. Los sistemas

hidrogeológicos pueden ser variables y siempre dependerán de los estudios de la geología e historia de la estratificación del sector. Por su ímpetu la hidrología tiene como fin la determinación mediante el estudio del origen y la formación de las aguas subterráneas por lo que englobamos que un sistema hidrogeológico es un conjunto de dinámicas naturales que se encuentran ligadas a la formación de acuíferos en un área específica.

### **7.3.1 Sectorización en un sistema hidrogeológico**

La sectorización es una de las herramientas usadas para la designación específica y estudio de un área o situación indicada bajo la parametrización que se le otorgue. Durante varios años del estudio de la hidrogeología y la implementación de estudios de campo, se ha migrado a opciones de estudios sectorizados. Tomando en cuenta optimizar recursos tanto antropogénicos como económicos.

Las estrategias de la sectorización de sistemas permiten verificar comportamientos en acuíferos que solo ocurren en un delimitado espacio y que por ende solamente afecta a dicha zona.

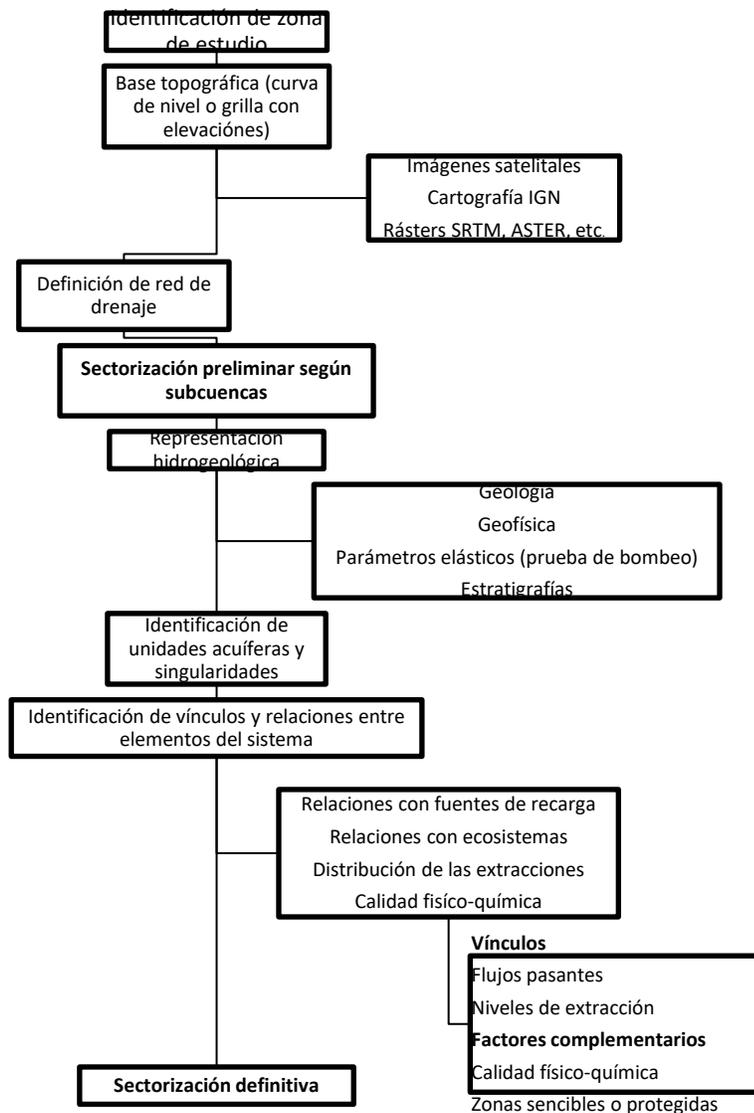
### **7.3.2 Propuestas metodológicas para sectorizar un acuífero**

En el informe realizado por el ministerio de obras públicas del gobierno de Chile en el 2014 (GCF Ingenieros Ltda. S.I.T. n341, 2014) propone una de las metodologías para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel de la nación de Chile, la cual ha sido tomada de referencia para varios estudios posteriores.

La formalización de la metodología se basa en los datos recabados base que ya se tengan del lugar a sectorizar, la clave de la metodología es poder tener

data base real lo mayormente aproximado a la realidad y que su calidad de información pueda ser interpretativa para la formación de modelajes con sistemas de información geográfica; por lo que, al utilizar la metodología, debe ser considerado el conocimiento del manejo computacional de herramientas de proyección geográficas.

Figura 2. **Esquema de sectorización acuífera**



Fuente: GCF Ingenieros Ltda (2014). *Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional.*

## 7.4. Agua

El agua es un compuesto máspreciado para la formación de la vida, está formado de dos elementos; el hidrógeno y el oxígeno. Conteniendo a nivel molecular la formación de dos partes del elemento hidrógeno y una del elemento oxígeno, formula química H<sub>2</sub>O. Es el único compuesto que se encuentra de forma natural en los estados sólidos, líquidos y gaseosos. (Fondo para la comunicación y educación ambiental, A.C., 2022)

Figura 3. **Ciclo del Agua**



Fuente. Fondo para la comunicación y educación ambiental, A.C.,(2022) Ciclo del Agua Consultado el 14 de marzo de 2022. Recuperado de <https://agua.org.mx/que-es/#ciclo-del-agua>.

### 7.4.1. Ciclo del agua

El ciclo hidrológico o ciclo del agua como mayormente conocido es uno de los procesos bioquímicos más importantes. El agua sufre una serie de transformaciones y desplazamientos permitiendo la presencia de este compuesto prácticamente en la mayor parte del planeta tierra, gracias dicha transformación

que sufre por sus tres estados: líquido, sólido y gaseoso; durante los procesos de: evaporación, condensación, precipitación e infiltración.

#### **7.4.1.1. Evaporación**

Proceso por el que el compuesto agua sufre cambios de temperatura y permite la transformación física y química, permitiendo bajar densidad y tener forma gaseosa.

#### **7.4.1.2. Condensación**

Se dice condensación cuando las moléculas de agua reducen su movilidad y se unen sobre partículas sólidas en suspensión con el aire, se produce la condensación al enfriarse el agua, durante dicho proceso se puede determinar el origen de las nubes.

#### **7.4.1.3. Precipitación**

Se considera como el proceso de caída por motivos de gravedad de la manifestación y transformación física del agua desde las capas de formación atmosféricas; teniendo como finalidad el depositarse hacia los niveles de superficies terrestres, o superficies de elementos de la corteza terrestre.

#### **7.4.1.4. Infiltración**

Proceso por el que el agua muestra su caída sobre superficie terrestre o superficie de un elemento sólido, regresando a los ecosistemas acuáticos, en forma de aguas filtradas hacia las superficies subterráneas, por medio del escurrimiento por acción de la gravedad y la topografía, o a través del

derretimiento de los hielos en las estaciones con temperatura catalogadas como cálidas.

## **7.5. Conservación y dinámica del agua**

La conservación del agua o eficiencia hídrica son términos que se refieren a la importancia de reducir el uso del agua, sobre todo procurando eliminar su mal uso.

La dinámica agua se encuentra en continuo movimiento debido a los vientos, a las diferencias térmicas y transformaciones químicas y físicas, a las que también se le debe de añadir el uso para conservación ecosistemita y antropogénicas para sustentar la vida. El uso antropogénico es uno de los que mayormente ha ido creando un impacto en cuanto a la dinámica natural del agua por producciones, crecimientos industriales y crecimientos de actividades de uso del recurso. Por ello es considerable pensar que la dinámica actual del agua no es solo limitante a un ciclo natural, y por ello es importante la conservación.

## **7.6. Agua subterránea**

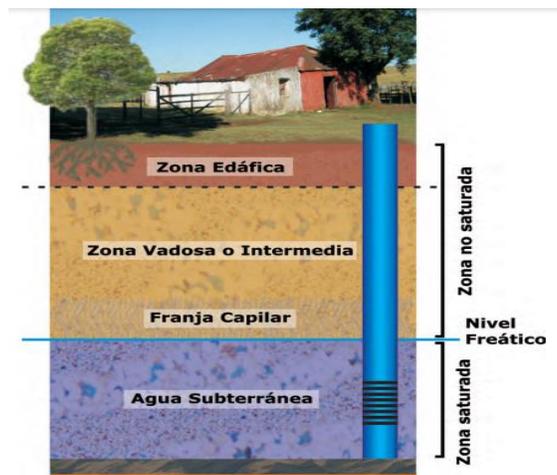
Agua subterránea es el agua que tiene una circulación y se mantiene en alojamiento en los niveles de subsuelo conformando con ello la creación de los acuíferos. Los aportes primordiales para la obtención de este líquido, son las recargas por medio de filtraciones, recargas directas por medio de ríos o lagos y escorrentías dentro de zonas porosas que por el mismo proceso de filtración logra alimentar al acuífero.

### 7.6.1. Distribución vertical del agua subterránea: Zonas saturadas y no saturadas

El perfil de subsuelo o el perfil en términos técnicos litográficos o estratigráficos, se presenta de manera representativa por medio de capas. Con el tema de la distribución vertical del agua subterránea, se puede identificar que, para lograr conocer la dinámica del agua subterránea, existen dos zonas de identificación por los caracteres hidráulicos.

Al hablar de la zona no saturada, estamos considerando que esta se encuentra mayormente entre la superficie del terreno y la superficie freática del acuífero, y estas por las fisuras y/o poros representativos solamente contienen aire. Dicha zona se divide en tres tipos: zona de evapotranspiración o zona edáfica, zona intermedia y zona capilar. En cambio, al hablar de la zona saturada, estamos considerando toda aquella capa donde las características del suelo o roca permiten mediante sus poros y fisuras estar siempre recargadas de agua de una manera prolongada (Collazo y Montaña, 2012).

Figura 4. Distribución vertical del agua subterránea



Fuente: Collazo y Montaña ( 2012) Identificación de zonas de acuerdo a profundidades del suelo.

## **7.7. Monitoreos de control y seguimiento**

Los monitoreos de control y seguimiento sirven para tener y alimentar una línea base en cuanto los datos que se originen, por ello es indispensable conocer bajo que objetivos de aplicación se estarán llevando a cabo para conocer la finalidad de estos ejercicios.

### **7.7.1. Objetivos del control y seguimiento**

Para la determinación de los objetivos se deben de tener en cuenta que el monitoreo de calidad del agua va enfocado a la caracterización de la toma de muestra representativa por zona de estudio. Por ello la verificación y la custodia del control y seguimiento tiene que estar a raíz de la vigilancia que se le dé y que al final el resultado pueda ser un resultado veraz y confiable para colocar en registro.

Cuando se tienen estudios previos y datos previos de una toma de muestra, se debe de identificar bajo que estándares o parámetros de control fueron evaluados, para que este nos otorgue un grado de confiabilidad, aunque no se estuvo presente en algún tipo de custodia.

### **7.7.2 Muestreos representativos**

El muestro representativo para un sistema hidrogeológico o el muestreo de un acuífero seleccionado conlleva muchas dificultades que se deben de tomar en cuenta. El muestreo a nivel subterráneo no es medible de la misma manera que un muestre a nivel superficial, puesto que para el acceso de la toma de muestra debe de realizarse bajo metodologías indicadas. La COGUANOR NTG ISO 5667-11 Calidad del agua, muestreo y directrices para el muestreo de aguas

subterráneas; muestra el método regulado para obtener muestras representativas que no causen interpretación errónea por alteración o mala manipulación de la misma.

## **7.8. Calidad del agua**

La importancia de conocer el tema de calidad del agua radica en el concepto de la dirección a la que se dirige el tema. Por ello es importante definirlo y conocer de la mano la legislación aplicable.

### **7.8.1. Antecedentes de legislación para la evaluación de la calidad de agua para consumo humano**

A nivel de país se ha generado información sobre los recursos hídricos desde la década de 1990; en 1998 el Plan de Acción Forestal para Guatemala - PAFG- elaboró el mapa de Recarga Hídrica (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, y otros, 1996), en el año 2005 el Instituto Nacional de Bosque generó el mapa de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica, además del programa de Investigación en Hidrología Forestal (Instituto Nacional de Bosques -INAB-, 2015), donde se priorizaron los estudios de recarga hídrica en diferentes regiones del país.

En el año 2012 el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) desarrolla el mapa de Potencial Hidrogeológico para fines de riego, en el año 2016 se propone el tema de Reservas de Agua por el Fondo Mundial de la Naturaleza (*World Wide Fund for Nature, por sus siglas en ingles WWF*) que incluye los atributos de Captación, Regulación y Recarga Hídrica, además de un análisis de la Áreas Protegidas y sitios RAMSAR (The RAMSAR convention

secretariat, 2014), el cual tuvo el apoyo de varias entidades de Gobierno para finalizar el mapa en el 2019.

El Congreso de la República ha emitido una cantidad significativa de iniciativas de Ley de Aguas que por diversas causas políticas y de conflictos de interés no han culminado su proceso quedando únicamente como una intención, tal es el caso de la iniciativa 5070 Ley Marco del Agua del 18 de mayo del 2016 (Congreso de la Republica Guatemala, C. A. , 2016), que emite la rectoría, dependencias que intervienen en tema de agua, tarifas y derechos humano de acceso al agua entre otras.

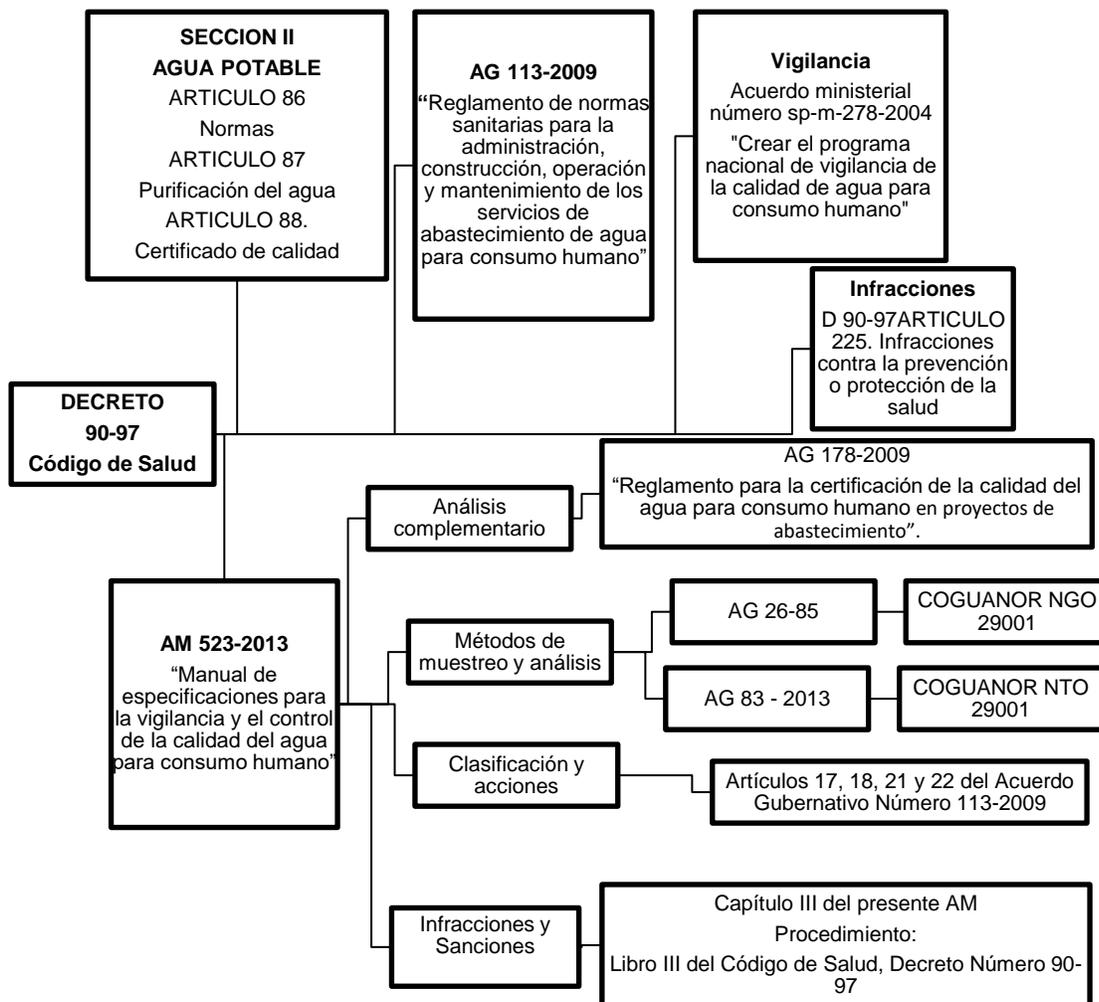
En el año 2017 el Instituto nacional de bosques (INAB) actualizó el mapa de 2005 obteniendo el mapa de Tierras Forestales de Captación, Regulación y Recarga Hídrica (Solórzano, 2018), también el mapa de Partes de Cuencas con el objetivo de aplicar la ley forestal y garantizar las zonas de recarga hídrica; al final existe mucha información a nivel general, que de alguna forma son instrumentos que son la base y orientan a la planificación del recurso hídrico que garantiza agua para el ecosistema, consumo humano y sectorial.

Luego de ello el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), establece en el Código de Salud, Decreto No. 90-97 del Congreso de la República (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 1997), le compete al Estado, a través del MSPAS, en coordinación con las instituciones del Sector, velar por la protección, conservación, aprovechamiento, uso racional de las fuentes de agua potable y por la calidad del agua para consumo humano.

Enlazado a todos los antecedentes mediante el ministerio de economía el 5 de mayo de 1962 según decreto 1523 del Congreso de la República de Guatemala, se crea la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR

(Comisión Guatemalteca de Normas, 2019), donde el afán es de centralizar y parametrizar guías especiales y específicas para temas y procedimientos específicos, basándose en legislaciones y normativas internacionales como soporte.

Figura 5. **Resumen de dinámica legal para el uso de agua para fines de consumo humano**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

### **7.8.2. Acuerdo Ministerial 523 – 2013**

Este acuerdo cuenta como base el código de Salud del Ministerio de Salud Pública y asistencia Social (MSPAS) con el fin de establecer normas vinculadas a los temas de construcción, mantenimiento de servicios de agua potable para consumo humano, vigilancia, ordenamiento y administración del recurso. Teniendo como objeto en el Artículo 1 “El presente Manual de Especificaciones para la Vigilancia y el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, en adelante Manual, tiene como objeto establecer las especificaciones técnicas que se deben aplicar, para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano en la República de Guatemala” (Acuerdo Gubernativo 523-2013, 2013) .

### **7.8.3. Normas COGUANOR**

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) fue creada bajo el Decreto 1523 del Congreso de la República de Guatemala, dicha entidad dirige la gestión de la normalización técnica generando confianza en varios sectores. Dentro de la normalización, se crean las Normas Técnicas Guatemalteca (Comisión Guatemalteca de Normas, 2019).

#### **7.8.3.1. Norma Técnica Guatemalteca 29001**

La norma tiene como objeto en el numeral 1 “establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.” (COGUANOR NTG 29001, 2013, p. 4) indicando los parámetros de medición para optar a límites máximos permisibles en los que la calidad del agua debe ser evaluada para dicho consumo.

### 7.8.3.1.1 Parámetros

A continuación, se presenta información sobre algunos de los parámetros a considerar para el agua de consumo humano.

Tabla I. **Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano**

<b>Características</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Color	5.0 u	35.0 u (a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (b)
Conductividad eléctrica	750 $\mu$ S/cm	1500 $\mu$ S/cm
Potencial de hidrógeno	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5 (C)(d)
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala platino-cobalto  
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad  
 (c) Unidades pH  
 (d) Límites establecidos a una temperatura 25 grados C

Fuente: elaboración propia con datos de COGUANOR NTG 29001  
 (COGUANOR NTG 29001, 2013)

Tabla II. **Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

<b>Características</b>	<b>LMA (mg/L)</b>	<b>LMP (mg/L)</b>
Cloro residual libre(a)	0.5	1.0
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	100.0	250.0
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	100.0	500.0
Sulfato (S <sub>04</sub> )	100.0	250.0
Aluminio (Al)	0.050	0.100
Calcio (Ca)	75.0	150.0
Cinc (Zn)	3.0	70.0
Cobre (Cu)	0.050	1,500
Magnesio (Mg)	50.0	100.0
Manganeso total (Mn)	0.1	0.4
Hierro total (Fe) (b)	0.3	-----

Continuación Tabla II.

- a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.
- b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo, el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: elaboración propia con datos de COGUANOR NTG 29001  
(COGUANOR NTG 29001, 2013)

Tabla III. **Valores guías microbiológicos que debe tener el agua para consumo humano**

<b>Microorganismos</b>	<b>LMP</b>
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100 mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100 mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100 mL de agua

Fuente: elaboración propia.

### 7.8.3.2 Norma Técnica Guatemalteca 29006

Esta norma tiene como objeto en el numeral 1 “establece los procedimientos de recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras de agua, desde su fuente hasta su ingreso al laboratorio, para el análisis de los parámetros descritos en la norma COGUANOR NTG 29001. Agua

para consumo humano (potable). Especificaciones.” (COGUANOR NTG 29006, 2011).

## **7.9 Índices de calidad del agua**

Los índices de calidad son las evaluaciones o resultados de las características físicas, biológicas y químicas que conservan en la muestra hídrica, las cuales son evaluadas para fines de control del estado natural o para usos específicos a las que se quiere adoptar la finalidad del recurso agua. Los índices ayudan a determinar problemática o tendencias al ser comparados entre muestras hermanas, por ello es importante conocer el procedimiento para la implementación del sistema de valoración (Rivera, 2008).

### **7.9.1. Determinación de los índices del agua**

La determinación está ligada al tipo de interpretación que se le requiera otorgar, si será medible bajo la metodología ICA-NSF o la metodología ISQA. La diferencia de ambas es el involucramiento de las variables y los pesos asignados a cada uno. Se le otorgan valoraciones dependiendo del rango de resultado en el que se encuentra cada parámetro y se determina por métodos matemáticos. La metodología pensada en usarse es la metodología ICA-NSF (Rivera, 2008).

### **7.9.2. Métodos y parametrización de ICA-NSF**

Para realizar la parametrización de los valores para obtener el ICA-NSF (Rivera, 2008) se deben de tener en cuenta los siguientes factores.

Tabla IV. **Factores de ponderación ICA-NSF**

<b>Parámetro</b>	<b>Factor de Peso</b>
Oxígeno disuelto	0.17
Coliformes fecales	0.15
pH	0.12
Demanda bioquímica de oxígeno	0.10
Temperatura	0.10
Fosfatos	0.10
Nitratos	0.10
Turbiedad	0.08
Sólidos totales	0.08

Fuente: elaboración propia.

Al tener los pesos otorgados se debe de realizar la valoración con la fórmula de cálculo para el índice de calidad.

**Ecuación 1. Fórmula de cálculo para índice de calidad**

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde:

ICA - NSF= índice de calidad del agua

SI = subíndice del parámetro

Wi= Factor de ponderación para el subíndice i

### 7.9.3. Interpretación de resultados para el índice de calidad ICA-NSF

Los resultados para la aplicación del índice de calidad generan un valor que se encuentra entre 0 y 100. Teniendo como 0 una calidad del agua muy pobre y el 100 como una calidad del agua excelente. En la siguiente tabla se puede verificar bajo que rango se puede obtener una valoración cualitativa.

Tabla V. Interpretación de los valores del Índice ICA-NSF para consumo humano

ICA	Categoría	Descripción	
91 – 100	Excelente	El agua es capaz de poseer una alta diversidad de vida acuática. Además, también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella	No requiere tratamiento
71 – 90	Buena	La calidad del agua ha disminuido la diversidad de la vida acuática, presenta una leve contaminación.	Rango adecuado para consumo humano
51 – 70	Mediana	Las aguas tienen, generalmente, menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas.	
26 – 50	Mala	Las aguas pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando, probablemente, problemas con la contaminación.	

Continuación Tabla V.

<b>0 - 25</b>	<b>Muy mala</b>	<b>Las aguas pueden solamente apoyar un número limitado de las formas acuáticas, presentan problemas abundantes, no es aceptada para las actividades que implican el contacto directo con ellas.</b>	<b>No apta para realizar tratamiento de agua para consumo humano</b>
---------------	-----------------	--	--

Fuente: elaboración propia.

## **7.10 Vulnerabilidad acuífera**

La definición de vulnerabilidad es referirse a que se describe como un punto de estado donde existe debilidad provocando cambios o rupturas al equilibrio de una situación, proceso o sistema; este puede ser provocado por manera natural o antropogénica. La vulnerabilidad acuífera no es una excepción de la definición aplicable a otras situaciones, pero si está ligado en su mayoría por actividades humanas.

### **7.10.1. Modelación para la representación de la vulnerabilidad con método DRASTIC**

La metodología DRASTIC es una modelación de la cual se determina la vulnerabilidad dependiendo de distintos factores de ponderación de las supuestas variables implementadas, dicha modelación ayuda a tener indicativos sobre la abundancia del recurso hídrico en una situación geográfica y bajo una explotación supuesta.

Este método fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*, por sus siglas en inglés EPA) como parte del desarrollo del mapeo hidrogeológico del país mediante la elaboración de mapas de vulnerabilidad hidrogeológica.

### **7.10.2. Utilización del método DRASTIC**

El método DRASTIC es mayormente usado para la identificación visual de la vulnerabilidad hidrogeológica del aprovechamiento o desaprovechamiento de los acuíferos por medio de modelos estadísticos y de proyección gráfica. Cabe mencionar que dicho método no deja a un lado la validación por parte de una investigación alterna o previa, puesto que para implementar la metodología se debe de tener base de datos previo o la construcción de los mismos. Los cuales tendrán como resultados proyecciones que estarán referenciadas al afinamiento de la calidad de datos que fueron interpretados. Es decir, entre más veraz es el dato original para la modelación, dicha modelación y proyección será más apegada a la realidad.

#### **7.10.2.1. Parámetros a utilizar en método DRASTIC**

La metodología DRASTIC está basada en 7 parámetros, los cuales al ser formados le dan el nombre al método. Dichos parámetros pueden ser obtenidos de una manera por investigación de campo o por base de datos. A continuación, se enlistan los parámetros: profundidad del agua, recarga neta, medio del acuífero, medio del suelo, topografía, impacto de la zona vadosa y conductividad hidráulica.

#### **7.10.2.1.1 Profundidad del agua**

Al hablar de la profundidad del agua, estamos haciendo referencia a la distancia que se tiene desde la superficie y el nivel freático. Con ello se evalúa que tanto es el espesor del terreno que se debe de intervenir por medio de pozos para poder realizar una extracción.

#### **7.10.2.1.2. Recarga Neta**

Se le conoce como recarga a la cantidad de agua obtenida por una unidad de área sobre la cual completa un proceso de infiltración hasta llegar a un nivel freático.

#### **7.10.2.1.3. Medio del acuífero**

El medio del acuífero es la zona o el tipo de zona o capa en la que se estará situando el acuífero. Con ello se puede verificar si la localización del mismo es factible para la conservación de un acuífero y o queda limitante al no tener un medio adecuado para los procesos de recarga por infiltración.

#### **7.10.2.1.4. Medio del suelo**

El suelo es el medio en el que se dará el proceso de infiltración o estancamiento del acuífero, el suelo es un material geológico que ha sido intervenido por la materialización y se caracteriza por tener en su mayoría cobertura vegetal.

#### **7.10.2.1.5. Topografía**

Le llamamos topografía a la medición cuantitativa de una superficie de área supuesto a un levantamiento por medio de proyecciones medible. Esta puede obtenerse de una manera plana o proyecciones por modelaciones satelitales. La topografía es la modelación de relieve de la corteza terrestre.

#### **7.10.2.1.6. Impacto de la zona vadosa**

Es la zona de un sistema hidrogeológico que no se encuentra en saturación o la misma es una saturación discontinua. Esta depende por las composiciones litológicas y características de composición del espesor, así como las propiedades fisicoquímicas de las rocas que conforman el espesor.

#### **7.10.2.1.7. Conductividad hidráulica**

El movimiento del agua por naturaleza corre hacia donde la inclinación y la gravedad tenga a su favor, hablando en los estados líquidos y sólidos. El movimiento que realiza el agua en el suelo, siempre depende del flujo que este lleva y a su vez del balance energético que lleva en su dinámica (Evet, 2000).

La conductividad es más que la comprensión de la fluidez mediante la composición química del líquido y temperatura con la interacción del medio donde se realiza la movilidad; teniendo parámetros de densidades o porosidades. Darcy fue un científico que explico y estableció la mecánica de fluidos y la conductividad hidráulica que pueden tener a través de las densidades y viscosidades; gracias a la fórmula de la Ks.

## Ecuación 2. Fórmula de cálculo para Ks

$$Ks = \frac{d^2 \rho g \varepsilon}{32 \eta}$$

Donde

Ks = conductividad hidráulica

d = diámetro medio de los poros entre dos granos

$\rho$  = densidad del fluido ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$\eta$  = viscosidad dinámica ( $\frac{kg}{m*s}$ )

$\varepsilon$  = porosidad ( $\frac{\text{Volumen de los poros}}{\text{Volumen total}}$ )

La porosidad ( $\varepsilon$ ), en la conductividad hidráulica queda demostrada en esta ecuación, donde la relación entre porosidad y conductividad hidráulica es directamente proporcional.

### 7.10.3. Parámetros numéricos para valorización en método DRASTIC

La metodología DRASTIC utiliza sistemas numéricos para la valoración relativa de la vulnerabilidad de un acuífero. Las cuales son utilizadas para la clasificación y parametrización de calores estándares. Dichos valores oscilan entre 1 y 10; estos representarán parámetros que luego serán usados para conocer el valor del índice de vulnerabilidad.

Tabla VI. **Escala y clasificación de la profundidad**

<b>Profundidad del agua en metros</b>	
<b>Escala en metros</b>	<b>Calificación</b>
0 a 1.5	10
1.5 a 9	9
9 a 15	7
15 a 23	5
23 a 30	3
>30	1

Fuente: Profundidad del agua (Aller et. al., 1987).

Tabla VII. **Escala y clasificación de la recarga neta**

<b>Recarga neta mm/añual</b>	
<b>Escala en metros</b>	<b>Calificación</b>
0 a 50	1
50 a 100	3
100 a 180	6
180 a 250	8
>250	9

Fuente: Recarga neta (Aller et. al., 1987).

Tabla VIII. **Tipo de materiales y clasificación del medio del acuífero**

<b>Medio del acuífero</b>			
<b>Tipo de materiales</b>	<b>Materiales según área de estudio</b>	<b>Rango general de calificación</b>	<b>Calificación</b>
Basalto	Lavas vesiculares	2 a 10	10
Arena y grava	Aluviales y piroclastos sueltos	4 a 9	8
Arenisca	Toba aglomerática	4 a 9	6 (Incipientemente fracturada) 7 (medianamente fracturada) 9 (intensamente fracturada)

Fuente: Medio del acuífero (Aller et. al., 1987).

Tabla IX. **Tipo de materiales y clasificación del medio del suelo**

<b>Escala medio del suelo</b>		
<b>Tipo de materiales según área de estudio</b>	<b>Espesor</b>	<b>Calificación</b>
Cobertura ausente y suelo aluviales	<25 cm	10
Suelos arcillosos limosos	Hasta 50 cm	7
Suelos arcillosos arenosos	Hasta 70 cm	5
Suelos arcillosos residuales	> 100 cm	3

Fuente: Medio del suelo (Aller et. al., 1987).

Tabla X. **Escala y clasificación de la topografía**

<b>Topografía % de pendiente</b>	
<b>Escala en metros</b>	<b>Calificación</b>
0 a 2	10
2 a 6	9
6 a 12	5
12 a 18	3
>18	2

Fuente: Porcentaje de pendiente (Aller et. al., 1987).

Tabla XI. **Tipo de materiales y clasificación para zonas vados**

<b>Impacto de zona vados</b>			
<b>Tipo de material según Drastic</b>	<b>Tipo de materiales según área de estudio</b>	<b>Rango general de calificación</b>	<b>Calificación</b>
Arenisca	Las sierras superiores, lavas y piroclásticos	4 a 8	7

Continuación Tabla XI.

Arena y grava	Rellenos de graven y piroclastos	6 a 9	8
Basalto fracturado	Coladas de volcanes o parte superior de sierras	2 a 10	9

Fuente: Zona vados (Aller et. al., 1987).

Tabla XII. **Escala y clasificación para la conductividad hidráulica**

<b>Conductividad hidráulica</b>	
<b>Escala en metros</b>	<b>Calificación</b>
0.04 a 4	1
4 a 12	2
12 a 28	4
28 a 40	6
40 a 80	8
>80	10

Fuente: Conductividad hidráulica (Aller et. al., 1987).

#### 7.10.4. Índice DRASTIC

Para la evaluación de los parámetros de los procesos de recavación e identificación de los 7 valores numéricos, se procede a realizar en términos matemáticos la obtención del resultado mediante la siguiente ecuación.

#### Ecuación 3. **Fórmula de cálculo para índice DRASTIC**

$$\text{Indice de Drastic} = 5Dr + 4Rr + 3Ar + 2Sr + Tr + 5Ir + 3Cr$$

Donde:

Dr = Altura del acuífero

Rr = Recarga

Ar = Medio acuífero

Sr = Suelo del medio

Tr = Topografía

I = Impacto a la zona vadosa

Cr= Conductividad hidráulica del acuífero

#### 7.10.4.1 Rangos de vulnerabilidad

Para la aplicación de una razón cualitativa de los índices DRASTIC es necesario tener la clasificación metodológica del rango de vulnerabilidad mostrados a continuación.

Tabla XIII. Rango de vulnerabilidad

Apreciación cualitativa	Índice
Área de alta vulnerabilidad	140 a 200
Área de moderada vulnerabilidad	100 a 139
Área de baja vulnerabilidad	<99

Fuente: Rango de vulnerabilidad (Aller et. al., 1987).

#### 7.11. Sistemas de información geográficos

Para el procesamiento de datos obtenidos y la creación de atributos asociados que representen de una manera visual los algoritmos; a todo el

proceso anterior descrito le llamamos modelación espacial por medio de sistemas de información geográficas.

Para obtener un resultado en dichos modelos debemos generar distintos tipos de espacios data los cuales se asocian a las variables presentadas a las que como resultados nos otorgarán sistemas vectoriales y modelos ráster.

Los modelos determinados por las variables presentadas crean asociaciones a cada punto geográfico, y concibe el entorno geográfico como un dónde colocan diversos elementos para representar un apego a la realidad. En realidad, los sistemas de información geografía son vías de comunicación para el proceso de asimilación de resultados representativos a un espacio geográfico determinado (Aller et. al., 1987).

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL
  - 1.1. Estudios previos (recientes)
  - 1.2. Antecedentes
2. MARCO TEÓRICO
  - 2.1. Descripción del municipio de Villa Nueva
  - 2.2. Población
  - 2.3. Topografía
  - 2.4. Descripción del área de estudio
    - 2.4.1. Condiciones geológicas
      - 2.4.1.1. Rocas ígneas
      - 2.4.1.2. Rocas metamórficas
      - 2.4.1.3. Rocas sedimentarias
      - 2.4.1.4. Sistemas Hidrogeológicos sectorizados
      - 2.4.1.5. Sistema hidrogeológico

- 2.4.1.6. Sectorización en un sistema hidrogeológico
- 2.4.2. Propuestas metodológicas para sectorizar un acuífero
- 2.4.3. Agua
- 2.4.4. Ciclo del agua
  - 2.4.4.1. Evaporación
  - 2.4.4.2. Condensación
  - 2.4.4.3. Precipitación
  - 2.4.4.4. Infiltración
  - 2.4.4.5. Conservación y dinámica del agua
- 2.4.5. Agua Subterránea
- 2.4.6. Distribución vertical del agua subterránea: Zonas saturadas y no saturadas
- 2.4.7. Monitoreos de control y seguimiento
  - 2.4.7.1. Objetivos del control y seguimiento
  - 2.4.7.2. Muestreos representativos
- 2.4.8. Calidad del agua
- 2.4.9. Legislación de evaluación de la calidad de agua para consumo humano
  - 2.4.9.1. Antecedentes de legislación para la evaluación de la calidad de agua para consumo humano
  - 2.4.9.2. Acuerdo Ministerial 523 – 2013
  - 2.4.9.3. Normas COGUANOR
  - 2.4.9.4. Norma Técnica Guatemalteca 29001
  - 2.4.9.5. Parámetros
  - 2.4.9.6. Norma Técnica Guatemalteca 29006
- 2.4.10. Índices de calidad de agua

- 2.4.10.1. Descripción de índices de calidad del agua
- 2.4.10.2. Determinación de los índices del agua
- 2.4.10.3. Descripción de los parámetros para índice ICA-NSF
- 2.4.10.4. Métodos y parametrización de ICA-NSF
- 2.4.10.5. Interpretación de resultados para el índice de calidad ICA-NSF
- 2.4.11. Vulnerabilidad acuífera
  - 2.4.11.1. Modelación para la representación de la vulnerabilidad
- 2.4.12. Método DRASTIC
  - 2.4.12.1. Utilización del método DRASTIC
  - 2.4.12.2. Parámetros a utilizar en método DRASTIC
  - 2.4.12.3. Profundidad del agua
  - 2.4.12.4. Recarga Neta
  - 2.4.12.5. Medio del acuífero
  - 2.4.12.6. Medio del suelo
  - 2.4.12.7. Topografía
  - 2.4.12.8. Impacto de la zona vadosa
  - 2.4.12.9. Conductividad hidráulica
- 2.4.13. Parámetros numéricos para valorización en método DRASTIC
- 2.4.14. Índice DRASTIC
  - 2.4.14.1. Rangos de vulnerabilidad
- 2.4.15. Sistemas de información geográficos

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Características del estudio

- 3.1.1. Diseño
- 3.1.2. Enfoque
- 3.1.3. Alcance
- 3.1.4. Unidad de análisis

#### 3.2. Variables

#### 3.3. Fases del desarrollo de la investigación

- 3.3.1. Fase 1
- 3.3.2. Fase 2
- 3.3.3. Fase 3
- 3.3.4. Fase 4
- 3.3.5. Fase 5
- 3.3.6. Organización de la información
  - 3.3.6.1. Datos generales
  - 3.3.6.2. Datos específicos
    - 3.3.6.2.1. Precio spot
    - 3.3.6.2.2. Costo operativo
    - 3.3.6.2.3. Transacciones
    - 3.3.6.2.4. Demandas

#### 3.4. Determinación de escenarios

#### 3.5. Obtención de insumos

#### 3.6. Técnicas de análisis de información

### 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Escenarios analizados

#### 4.2. Determinación de la variable de estudio

#### 4.3. Costos

- 4.3.1. Costos del proceso

#### 4.4. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

Para elaborar el trabajo de investigación es necesario utilizar métodos y técnicas las cuales darán un soporte o guía, se estará trabajando bajo el método científico y analítico. Teniendo distintas fases de aplicación (investigación, recopilación, experimentación y análisis), así mismo se tendrá plan de muestreo y la obtención de los análisis de laboratorio; entre otros; con el propósito ensayar la solución propuesta al problema planteado.

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que en base a los datos y variables recolectadas se estará determinando los atributos dependiendo de variables numéricas modelando por medios estadísticos y proyecciones visuales.

El alcance es correlacional, dado que se realizará estableciendo relaciones entre varias variables usando métodos estadísticas y simuladores para tener resultados visuales digitalmente. Con la utilización del método DRASTIC, su principal base es tener las variables y mediante las mismas obtener resultados proyectados en un mapa descriptivo. Se estaría relacionando mediante la metodología DRASTIC las variables de profundidad del agua, recarga, litografía del acuífero, naturaleza del suelo y pendiente del terreno. Así como en la utilización de la verificación del ICA-NSF con las variables; oxígeno disuelto, coniformes fecales, pH, DBO, temperatura, fosfatos, nitratos, turbiedad y sólidos totales.

El diseño adoptado será no experimental, debido a que se realizarán investigación sistemática en la que el resultado de variables no es manipulable. Por ejemplo, se determinarán el tipo de suelo mediante un análisis del mismo, así como la caracterización de los parámetros de medición de agua que la norma COGUANOR NTG 29001 establece para utilización del agua para consumo humano, dicha información de para la determinación del índice de calidad de agua y vulnerabilidad de acuífero en la zona residencial de San José El Placer, San José Villanueva; se analizará en su estado original sin ninguna manipulación; además será transversal pues se estudiará data ya obtenida en estudios previos del control y seguimiento de la caracterización del agua de consumo.

La presente investigación es de tipo cuantitativa-descriptiva, esta considera evaluar el índice de calidad de agua y el estado de vulnerabilidad del acuífero para dejar precedente para la mejora continua del proceso y trazabilidad del seguimiento para conservación del recurso agua. El alcance de esta investigación reforzará la hipótesis planteada.

## **9.2. Unidades de análisis**

La comunidad que se beneficiarán del estudio será los habitantes de la colonia residencial San José El Placer con aproximadamente 4 habitantes por casa en una estimación de más de 600 casas que se abastecen de la explotación del acuífero por medio de tres pozos, de los cuales se extraerán muestras de forma de forma para la caracterización del agua de acuerdo a la normativa COGUANOR NTG 29001; al igual que la toma de muestras para la identificación del tipo de estrato de suelos en el área residencial, las cuales serán estudiadas en su totalidad debido que estas son variables que aportaran a la identificación de la vulnerabilidad del acuífero.

### 9.3. Variables

Tabla XIV. **Tabla de variables**

Variable	Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
		Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
<b>Parámetros de calidad del agua NTG 29001 y para ICA NSF</b>	Color		x				x	Razón
	Olor				X		x	Nominal
	Turbiedad				X		X	Razón
	Conductividad eléctrica				X		X	Razón
	Potencial de hidrógeno				x		X	Razón
	Sólidos totales disueltos				X		X	Razón
	Cloro residual libre				X		X	Razón
	Cloruro (Cl-)				X		X	Razón
	Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )				X		X	Razón
	Sulfato (SO <sub>4</sub> )				X		X	Razón
	Aluminio (Al)				X		X	Razón
	Calcio (Ca)				X		X	Razón
	Cinc (Zn)				X		X	Razón
	Cobre (Cu)				X		X	Razón
	Magnesio (Mg)				X		X	Razón
	Manganeso total (Mn)				X		X	Razón
	Hierro total (Fe) (b)				X		X	Razón
Coliformes totales y <i>E. coli</i>				x		X	Razón	
<b>Método DRASTIC</b>	Profundidad del agua			x			x	Razón
	Recarga			x			x	Nominal
	Litología del acuífero		x				x	Nominal
	Naturaleza del suelo		x				x	Nominal
	Pendiente del terreno				x		x	Razón

Fuente: elaboración propia

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla XV. **Tabla de variables: criterio y definiciones**

Criterio	Variable	Definición teórica	Definición operativa	
			Unidad de medición	Equipo
<b>Parámetros de calidad del agua NTG 29001 y para ICA NSF</b>	Color	Parámetros de medición para la calidad del agua según normativa COGUANOR NTG 29001 para el consumo y uso humano.	Unidades de color en la escala de platino-cobalto	Los equipos a utilizar serán los basados en las normas siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• COGUANOR NTG 29006. Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades.</li> <li>• Mientras las normas COGUANOR relacionadas no sean actualizadas, se aplicarán los métodos normalizados establecidos en Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater, APHA, en su última edición.</li> </ul>
	Olor		Rechazable / No rechazable	
	Turbiedad		Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	
	Conductividad eléctrica		µS/cm	
	Potencial de hidrógeno		pH	
	Sólidos totales disueltos		mg/L	
	Cloro residual libre			
	Cloruro (Cl-)			
	Dureza Total (CaCO3)			
	Sulfato (SO4)			
	Aluminio (Al)			
	Calcio (Ca)			
	Cinc (Zn)			
	Cobre (Cu)			
	Magnesio (Mg)			
	Manganeso total (Mn)			
	Hierro total (Fe) (b)			
Coliformes totales y <i>E. coli</i>		Detectable / no detectable	COGUANOR NGO 29 018 h21. Agua. Prueba de sustrato enzimático para determinación de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> .	

Continuación tabla XV.

Criterio		Definición teórica	Definición operativa	
			Unidad de medición	Equipo
Variable				
<b>Método DRASRIC</b>	Profundidad del agua	Este parámetro considera la profundidad del nivel piezométrico en el caso de un acuífero libre o del techo del acuífero para uno confinado	metros	Piezómetro
	Recarga	Considera la recarga anual, se puede determinar por métodos convencionales de balance y en general se puede emplear la documentación existente cuando las áreas estudiadas afectan a Unidades Hidrogeológicas o acuíferos definidos.	milímetros	Datos investigados
	Litología del acuífero	Para su determinación se emplea la cartografía geológica existente, como paso previo a un reconocimiento de campo de las litologías de los tramos peor definidos.	Cualitativo (arcillas, ígneas, calizas, etc.)	Datos investigados

Continuación tabla XV.

Criterio	Variable	Definición teórica	Definición operativa	
			Unidad de medición	Equipo
<b>Método DRASRIC</b>	Naturaleza del suelo	La naturaleza del suelo en las obras lineales puede obtenerse de las calicatas realizadas en los levantamientos geotécnicos, de la cartografía geológica o de la bibliografía existente.	Cualitativo (arcillas, ígneas, calizas, etc.)	Datos investigados
	Pendiente del terreno	En las obras lineales se realizan cartografías de detalle, con el correspondiente levantamiento topográfico, que pueden emplearse para la estimación de las pendientes correspondientes.	Metraje porcentual	GPS, DRON o teodolito

Fuente: elaboración propia.

Para realizar esta medición se tomarán datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenará tablas como la siguiente presentada para documentar los resultados:

#### 9.4. Fases del estudio

El procedimiento para el alcance de los objetivos planteados en el diseño de investigación, están descritos en las siguientes fases.

#### **9.4.1 Fase 1: exploración bibliográfica**

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, para enriquecer los conocimientos sobre las investigaciones realizadas en Guatemala, así como revistas científicas y publicaciones de datos sobre la metodología DRASTIC para conocer la vulnerabilidad acuífera, los índices de calidad de agua, así como temas relacionados a la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001.

#### **9.4.2 Fase 2: gestión o recolección de la información**

En la presente fase se realizará búsqueda de información respecto a los parámetros que se utilizarán para las metodologías y análisis de la investigativa. Se recolectará los últimos cuatro datos de resultados sobre las mediciones de calidad del agua a distribuir en el residencial. Se realizará análisis estadísticos para obtener un dato de mayor proximidad. Con respecto a los datos geológicos, se investigará por medio de uso de mapas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), así como, estudios previos realizados en el área. Y los datos de profundidad del pozo, se realizará la verificación de datos de control y seguimiento que tiene el ente administrativo de los pozos de estudio.

#### **9.4.3 Fase 3: recolección de muestras, trabajo de campo**

En la fase 3 se realizará la recolección de muestras según la normativa vigente para la recolección de muestras para análisis físico, químico y microbiológico del agua; para los tres pozos de estudio. Asimismo, se tomarán los datos de altura del piezómetro instalados en los pozos de observación (si se tuvieran) o del sistema que se tenga en el lugar para el control y seguimiento de la profundidad hacia el manto freático.

Para dicha recolección se utilizará la siguiente libreta de campo:

Tabla XVI. **Monitoreo de agua de pozo**

Numero de muestra	Numero de pozo			Cloruro	Color	pH	Nitratos	Dureza	Hierro	Plomo	Coliformes totales	...
	1	2	3									
1.1												
1.2												
2.1												
2.2												

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Profundidad de pozo, naturaleza del suelo, recarga, litografía acuífera y pendiente**

Numero de pozo	Profundidad (m)	Naturaleza del suelo	Recarga (mm)	Litografía acuífera	Pendiente (%)
1					
2					
3					

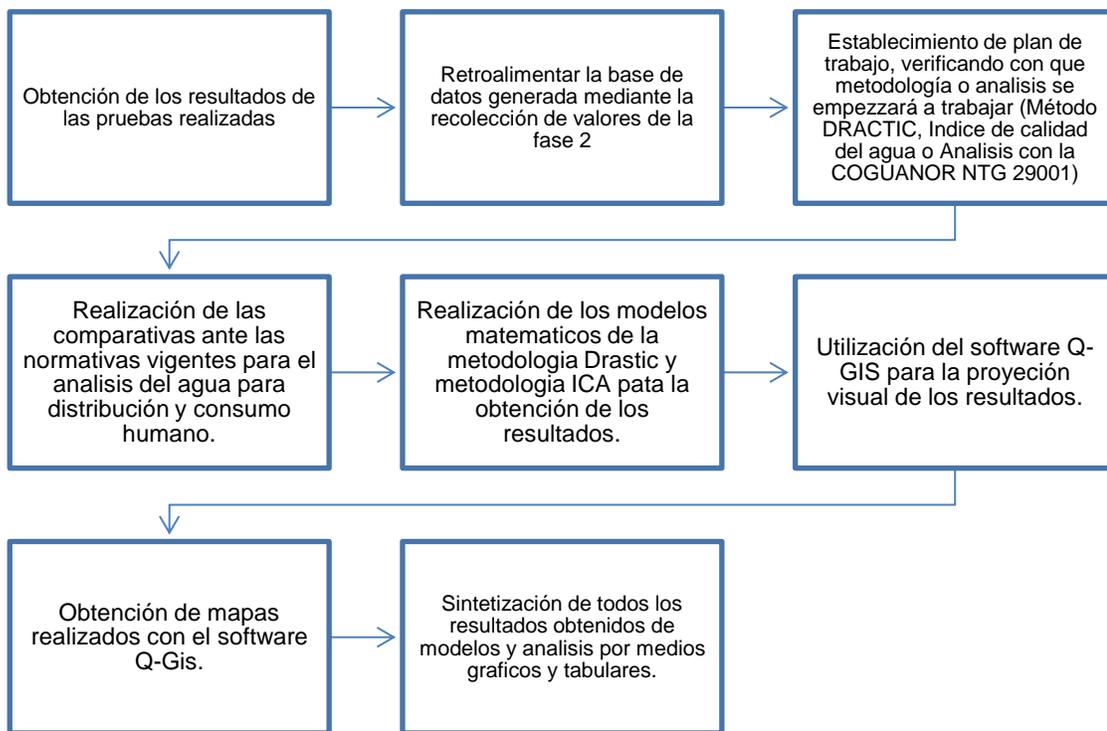
Fuente: elaboración propia.

Las muestras por recolectar se entregarán a proveedores externos para su respectivo análisis certificado. No se descarta la posibilidad de solicitar ayuda económica para solventar dicho gasto o en su defecto, utilizar la ayuda que la universidad destina para la realización del análisis de los muestreos en laboratorios internos de la universidad. Como apoyo en la investigación.

#### 9.4.4 Fase 4: obtención y análisis de información

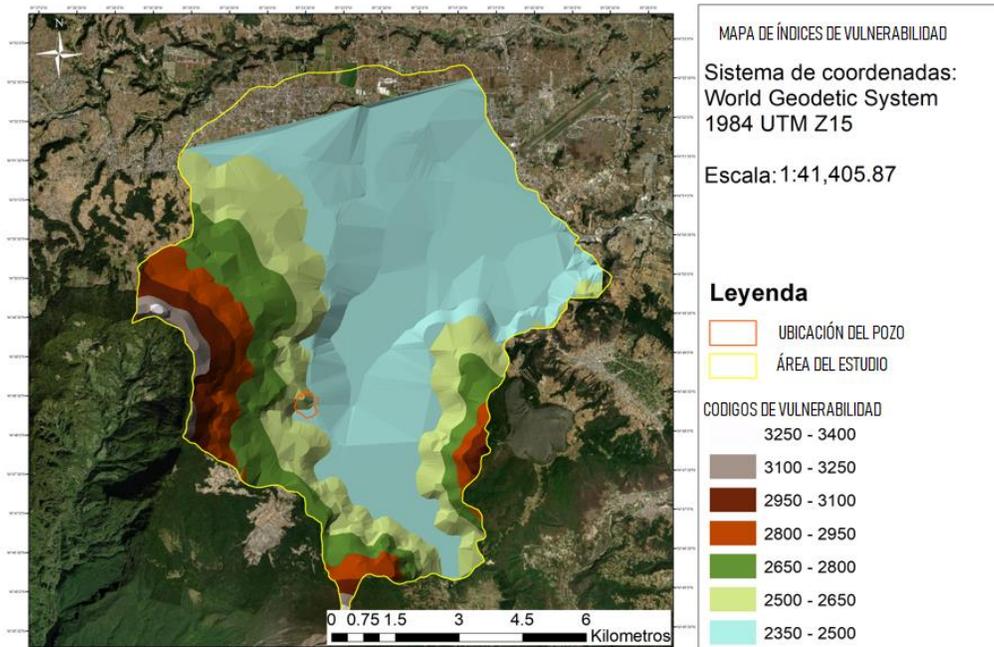
En la fase 4 se obtendrán los resultados de las tomas de muestras realizadas, se establecerá un plan de trabajo para la realización del análisis.

Figura 6. Gráfica de proceso: fase 4



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Figura 7. **Ejemplo de mapa de vulnerabilidad por método DRASTIC**



Fuente: elaboración propia.

#### **9.4.5. Fase 5: interpretación de información**

En la fase 5 se realizará la respectiva interpretación de los resultados obtenidos de las fases previas. En este paso, se generará dudas sobre el valor de los indicativos obtenidos previamente. Se establecerá nuevamente la retroalimentación a la base de datos y se realizará nuevamente una revisión bibliográfica para conocer el porqué de los resultados obtenidos, construyendo los supuestos de la investigación.

#### **9.4.6 Fase 6: establecimiento de base de datos**

En la fase 6 se estará estableciendo la base de datos final con todos los análisis recolectados y todos los valores que fueron parte de los modelos de

proyección y los modelos para el establecimiento del índice de calidad, comparativa con la norma COCUANOR NTG 29001 y el método DRASTIC, así como todas las retroalimentaciones en valores, realizadas en fases previas. La base de datos se trabajará por medio del uso de Excel.

El establecimiento de la base de datos ayudará a tener un precedente e indicadores sobre los datos obtenidos.

#### 9.4.7. Fase 7: resultados esperados

A continuación, se presenta la matriz de coherencia ampliada, donde se expone los resultados esperados correspondientes a cada fase de investigación que responde a los objetivos planteados.

Tabla XVIII. **Matriz de coherencia**

<b>Preguntas de investigación</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Fases</b>	<b>Resultados esperados</b>
<b>Principal</b>	<b>General:</b>	<b>Fase 1</b>	Determinar si se puede realizar la evaluación de la calidad del agua, índices de calidad y vulnerabilidad acuífera por medio de modelaciones.
¿Qué factores definen la calidad del agua y la vulnerabilidad acuífera del manto acuífero donde existe extracción de agua por medio de pozos para un residencial?	Evaluar la calidad del agua y la vulnerabilidad acuífera para identificar datos base en propuestas futuras para conservación del manto acuífero.		
<b>Auxiliares</b>	<b>Específicos:</b>	<b>Fase 2</b>	Obtener los datos requeridos para las modelaciones del ICA del acuífero.
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué parámetros de ICA-NSF existen en el agua extraída del pozo?</li> </ul>	1. Identificar parámetros de ICA-NSF y factores que puedan afectar la variabilidad en la conservación del acuífero.		

Continuación Tabla XVIII.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿La calidad del agua es apta para consumo humano en la distribución y extracción que realiza el residencial para sus consumidores?</li> </ul>	<p>2. Evaluar la calidad de agua para consumo humano para conocer bajo que valores se distribuye el agua al residencial, mediante la comparativa de la COGUANOR norma técnica guatemalteca 29001.</p>	<p><b>Fase 3</b></p>	<p>Obtener los muestreos relacionados a la calidad del agua, índice de calidad y parámetros para el método DRASTIC.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el índice de la vulnerabilidad acuífera?</li> </ul>	<p>3. Determinar el índice de vulnerabilidad acuífera por el método DRASTIC y su representación espacial.</p>	<p><b>Fase 4</b></p>	<p>Obtener los resultados y realizar análisis de los mismos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Se tienen datos previos a la realización de un posible estudio de identificación de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera?</li> </ul>	<p>4. Establecer archivo de datos base para uso futuro y pueda ser usado para conservar un registro histórico.</p>	<p><b>Fase 5</b></p>	<p>Obtener la interpretación de resultados de todos los modelos y análisis realizados.</p>
		<p><b>Fase 6</b></p>	<p>Obtener la base de datos para dejar en el ente administrativo, para futuros estudios</p>

Fuente: elaboración propia.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para cumplir con los objetivos de esta investigación es necesario utilizar estadística descriptiva, así como, modelos estadísticos de análisis de series de tiempo que describan un comportamiento aleatorio. Para lo cual se propone el siguiente procedimiento, que parte tanto de la Fase 1, 2, ,4 y 5; mencionadas en la sección de metodología.

- Recopilación de datos: de las diferentes bases públicas con información, se obtendrán los datos, en los cuales se esperan tener el mayor número de observaciones.
- Periodicidad: al ser información obtenida de diferentes fuentes, y con diferente frecuencia de medición, es necesario estandarizar la periodicidad de las variables, con el objeto de utilizarlas en un mismo modelo.
- Graficas: el objetivo de graficar es proveer una interpretación del comportamiento de las variables, describir su tendencia, estacionalidad y describir su comportamiento. Modelaciones SIG.
- Descripción estadística: se obtendrán características estadísticas de todas las variables del estudio. Asimismo, obtener coeficientes de correlación.
- Tendencia: se propone realizar una descomposición para extraer la tendencia de las variables.

Al obtener obtenido los datos del estudio se procederá a realizar un análisis estadístico de la información para poder predecir algunos comportamientos. Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tablas de datos de muestreos.
- Tablas de resultados de los muestreos.
- Tablas de datos obtenidos por investigación.
- Mapas de modelación en SIG.

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

- Análisis de correlación entre variables.

## 11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta el cronograma de actividades para la elaboración del informe final, el cual empieza en marzo de 2022 y finaliza el 25 de noviembre del mismo año. En el mismo se detalla las actividades y procedimiento establecido la metodología, las barras moradas representan la agrupación de actividades necesarias para realizar cada fase.

Tabla XIX. Cronograma de actividades

Actividades	Duración en días	Semana																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Revisión Bibliografica: metodologías, sustento científico, datos, etc.	20	■	■	■	■	■																									
Establecimiento de parámetros a medir según lo obtenido bibliograficamente	19	■	■	■	■	■																									
Compra de datos para gestiones georeferenciales o datos geograficos	17					■	■	■																							
Visita de campo para observaciones	15							■	■																						
Recolección de muestras: Trabajo en campo	16									■	■																				
Obtención de resultados	19															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ánalisis de información	27																														
Realización de los modelos matematicos de la metodologia DRASTIC y metodologia ICA para la obtención de los resultados	28																														
Utilización del software Q-GIS para la proyección visual de los resultados	24																														
Obtención de mapas realizados con software Q-GIS	17																														
Sintetización de todos los resultados obtenidos de modelos y análisis por medios gráficos y tabulares	13																														
Realizar informe final	38																														
Revisión de asesoria	154	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tramites de escuela de postgrado	16																														
Entrega de Informe Final	28																														

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

- **Recurso humano:** se requiere tiempo del estudiante de la Maestría, con el apoyo del asesor de la tesis.
- **Recurso informático:** se tiene el acceso a la información requerida a través de bases de datos públicos; datos de la asociación de agua del residencial. Así como, los datos de entidades gubernamentales.
- **Equipo y materiales:** se cuenta con el equipo de cómputo, cámara fotográfica, teléfono celular, GPS, más implementos necesarios para realizar el informe final.
- **Servicios:** se utilizará energía eléctrica, internet y datos de telefonía.
- **Recursos financieros:** los recursos financieros necesarios para ejecución de la presente investigación son:

Tabla XX. **Recursos financieros para la investigación**

<b>Recurso</b>	<b>Costo</b>	<b>Fuente de financiamiento</b>
Honorarios del estudiante (por solicitar permiso para atender gestiones de campo)	Q. 2,000.00	
Honorarios del asesor	Q3,000.00	
Recopilación de datos del asesor	Q50.00	Por parte del estudiante, algunos rublos de recursos pueden estar sujeto a financiamiento por medio de apoyo económico.
Impresión de documentos	Q100.00	
Internet	Q200.00	
Energía eléctrica	Q. 2,000.00	
Tóner de impresora	Q. 500.00	
Monitoreo de calidad del agua	Q. 7,500.00	
Compra de datos geográficos	Q200.00	
Impresión de mapas realizados	Q70.00	
Aporte del estudiante (-)	Q3,000.00	
Imprevistos	Q1,000.00	
<b>TOTAL</b>	<b>Q. 13,620.00</b>	

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

### 13. REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 523-2013, (2013). Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano, Guatemala, 23 de octubre de 2003.
2. Agudelo, S., Chica, E., Obando, F., Sierra, N., Velasquez, N., y Enríquez, W. ( 2013). Ingeniería y Competitividad. *En Ingeniería y Competitividad* 15, 183-193.
3. Aller, L., Benett, T., Lehr, J., y Petty, R. (1987). DRASTIC - A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. United States of American: U.S. EPA, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory.
4. Almanza, O. (2015). *Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí. (Tesis de maestría)*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C, San Luis Potosí.
5. Collazo, M., y Montañó, J. (2012). *Manual de agua subterránea*. Montevideo: Ministerio de ganadería, agricultura y pesca.
6. Comisión Guatemalteca de Normas NTG 29001, (17 de febrero de 2013). *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones. .* Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) Ministerio de Economía. Recuperado de <http://ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/04-COGUANOR-NTG-29-001-1a-Revision.pdf>

7. Comisión Guatemalteca de Normas NTG 29006, (fecha 2011). *Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades*. Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía.
8. Comisión Guatemalteca de Normas. (2019). *Catálogo 2019*. Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas.
9. Congreso de la Republica Guatemala, C. A. . (2016). *Iniciativa 5070 ley marco del agua*. Guatemala.
10. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de America. (2020). *Evaluación de recursos de agua de Guatemala*. Guatemala: Distrito de Mobile y Dentro de Ingenieria Topografica.
11. Evett, S. (2000). *Energy and water balances at soil-plant-atmosphere interfaces. Handbook of soil science*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
12. Fondo para la comunicación y educación ambiental, A.C. (14 de marzo de 2022). *Ciclo del agua*. Recuperado de <https://agua.org.mx/ques/#ciclo-del-agua>.
13. Foster, S., y Hirata, R. (1991). *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterranas*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
14. Galloway, D. L., y Sneed, M. (2013). *Analysis and simulation of regional subsidence accompanying groundwater abstraction and compaction of susceptible aquifer systems in the USA*. Sacramento, California: U.S. Geological Survey.

15. GCF Ingenieros Ltda. S.I.T. n341. (2014). *Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile.
16. González-Celda, E. (2020). Distribución espacial de la vulnerabilidad potencial a la contaminación del acuífero noroeste de ciudad de Guatemala. *Agua, Saneamiento y Ambiente*, XV, 12.
17. González, A. L. (22, de marzo, 2021). El 50% de la población de Guatemala se abastece de agua subterránea. *Diario La Hora*. Recuperado de <https://lahora.gt/nacionales/analucia/2021/03/22/el-50-de-la-poblacion-de-guatemala-se-abastece-de-agua-subterranea/>
18. Gramajo, B. (2004). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
19. INE. (2019). *XII Censo Nacional de Población*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.
20. Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2015). *Programa forestal de investigación forestal*. Guatemala: Instituto Nacional de Bosques.
21. Instituto Nacional de Estadística (INE) . (2018). *XII Censo Nacional de población y VII Censo Nacional de Vivienda*. Guatemala: INE.
22. López, C. (2004). *Historia del municipio de Villa Nueva* (Tesis de maestría) . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
23. Martínez, M., Delgado, P., y Fabregat, V. (1998). *Aplicación del método Drastic para la evaluación del riesgo de afección a las aguas*

*subterráneas por una obra lineal*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.

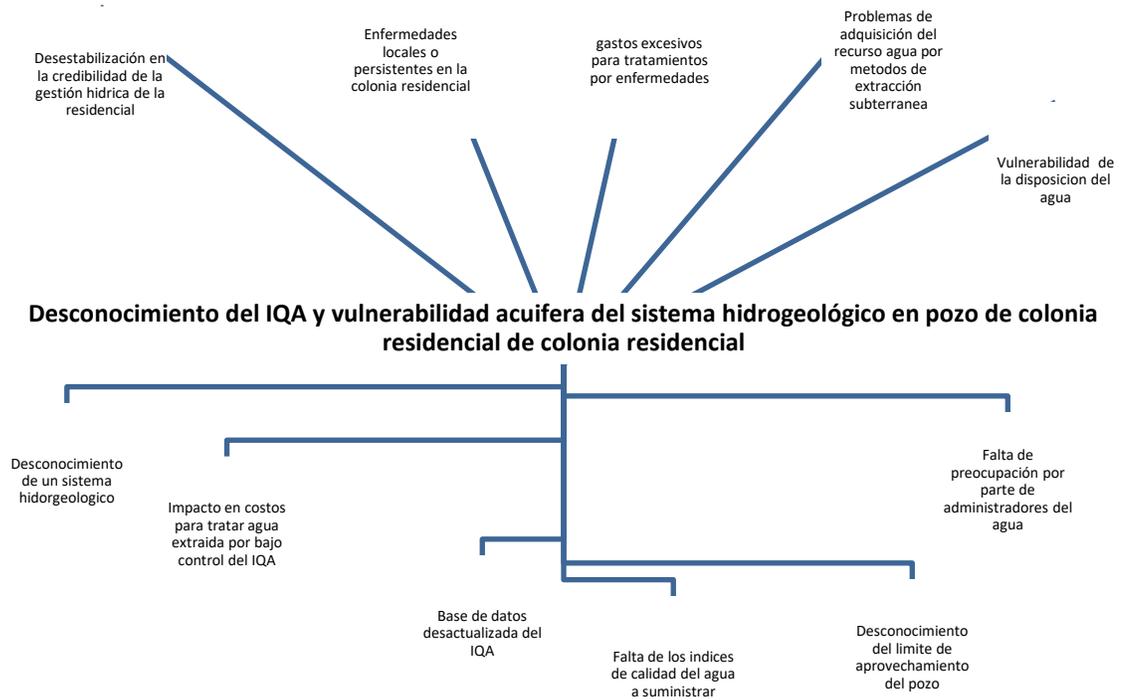
24. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Bosques, I. N., y Protegidas, y. C. (1996). *Política Forestal*. Guatemala.
25. Decreto Numero 90-97. *Código de Salud* . Diario de Centroamerica, Guatemala, 2 de octubre de 1997.
26. Ovalle, W. (2011). *Centro de capacitación, producción y comercialización comunitaria, Villa Nueva, Guatemala. (Tesis de licenciatura)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
27. Ramírez, L. (2003). *Estudio sobre la calidad de agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala. (Tesis de maestría)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
28. Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2021). *Calidad de agua en las Américas, unas sinopsis*. Córdoba, Argentina : IANAS.
29. Rivera, J. L. (2008). *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del Río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango. (Tesis de maestría)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
30. Solórzano, S. (2018 de 03 de 2018). Programas de incentivos forestales contribuyen al cuidado del recurso hídrico. *Nacionales*. Recuperado de <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/programas-de-incentivos-forestales-contribuyen-al-cuidado-del-recurso-hidrico/>
31. Spikermann, J. P. (2018). *Elementos de Geología General*. Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
32. Tarbuck, E., y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra, Una introducción a la geología física*. Madrid: Prentice Hall.

33. The RAMSAR convention secretariat. (2014). *Ramsar*. Recuperado de <https://www.ramsar.org/>
34. Yamazaki, D., Ikeshima, R., Tawatari, T. Y., O'Loughlin, F., J.C., N., C.C., S., . . . Bates, P. (2017). *A high accuracy map of global terrain elevations*. *Geophysical Research letter*. doi:10.1002/2017GL072874



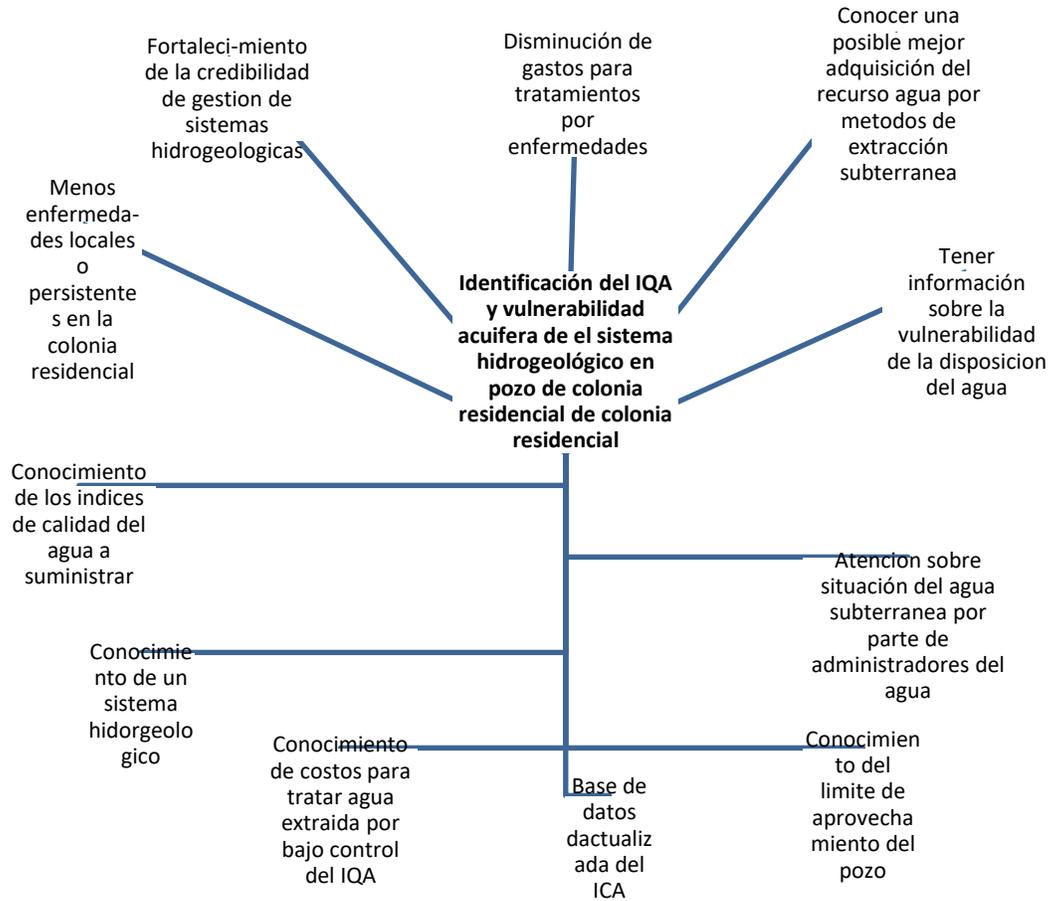
## 14. APÉNDICES

### Apéndice 1. Árbol de problema



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

## Apéndice 2. **Árbol de objetivos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

### Apéndice 3. Matriz de coherencia

Título de la investigación	Planteamiento del problema de la investigación	Preguntas de investigación	de Objetivos
<b>Diseño de investigación para la determinación del índice de calidad del agua ICA-NSF y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico en el área del pozo de colonia residencial, San José El Placer San José Villa Nueva</b>	Desconocimiento de la calidad e índice de calidad (ICA) del agua extraída para uso de consumo humano y vulnerabilidad acuífera del sistema hidrogeológico en pozo de abastecimiento de una colonia residencial.	Principal	General:
		¿Qué factores definen la calidad del agua y la vulnerabilidad del manto acuífero donde existe extracción de agua por medio de pozos para un residencial?	Evaluar la calidad del agua y la vulnerabilidad acuífera para identificar datos base en propuestas futuras para conservación del manto acuífero.
		Auxiliares	Específicos:
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué parámetros del ICA-NSF existen en el agua extraída del pozo?</li> </ul>	5. Identificar parámetros de ICA-NSF y factores que puedan afectar la variabilidad en la conservación del acuífero.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿La calidad del agua es apta para consumo humano en la distribución y extracción que realiza el residencial para sus consumidores?</li> </ul>	6. Evaluar la calidad de agua para consumo humano para conocer bajo que valores se distribuye el agua al residencial, mediante la comparativa de la COGUANOR norma técnica guatemalteca 29001.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el índice de la vulnerabilidad acuífera?</li> </ul>	7. Determinar el índice de vulnerabilidad acuífera por el método DRASTIC y su representación espacial.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Se tienen datos previos a la realización de un posible estudio de identificación de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera?</li> </ul>	8. Establecer archivo de datos base para uso futuro y pueda ser usado para conservar un registro histórico.		

Fuente: elaboración propia.