

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA
CIUDAD DE ZACAPA, DEPARTAMENTO DE ZACAPA



LUIS ALEJANDRO CALDERÓN ROSSEL

CHIQUIMULA, GUATEMALA, MAYO 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

CARACTERIZACIÓN DE LA CILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA
CIUDAD DE ZACAPA, DEPARTAMENTO DE ZACAPA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

LUIS ALEJANDRO CALDERÓN ROSSEL

Al conferírsele el título de

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUMULA, GUATEMALA, MAYO 2021

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



**RECTOR EN FUNCIONES
M.A. PABLO ERNESTO OLIVA SOTO**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	PEM. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	M.Sc. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M.A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M.A. Marlon Alcides Valdez Velásquez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. David Horacio Estrada Jerez
Secretario:	Inga. Magda Irene Medrano Guerra
Vocal:	M.Sc. José Ramiro García Alvarez

TERNA EVALUADORA

M.Sc. David Horacio Estrada Jerez
Lic. Zoot. Vilma Leticia Ramos López
Lic. Abner Mardoqueo Rodas Arzét

Chiquimula, 12 de Mayo del 2021.

Señores:

Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

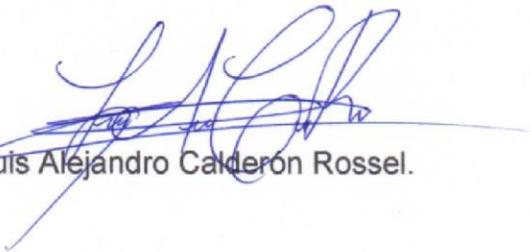
Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CIUDAD DE ZACAPA, DEPARTAMENTO DE ZACAPA”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente:

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Luis Alejandro Calderón Rossel.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL LOCAL

Chiquimula, 10 de marzo de 2021.

Ing. Edwin Filiberto Coy Cordón
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Ingeniero Coy:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar al estudiante **LUIS ALEJANDRO**

CALDERÓN ROSSEL en el trabajo de investigación denominado “**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA CIUDAD DE ZACAPA, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**”, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que se ha procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomendamos la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciado.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. José Ramiro García Álvarez
Asesor Principal

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó el estudiante **LUIS ALEJANDRO CALDERÓN ROSSEL** titulado "**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CIUDAD DE ZACAPA, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**", trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a veinticuatro de marzo del dos mil veintiuno.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
DIRECTOR
CUNORI - USAC



c.c. Archivo
EFCC/ars


05/05/2021

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

Compositor de mi vida y mi mejor amigo, quien me ha dado todo para lograr esta meta y muchas más. Porque el principio de la sabiduría es el temor a Dios y es en Jesucristo que adquiere propósito y sentido mi vida.

A MIS PADRES:

Onelia Elvira Calderón Rossel, Vilma Yolanda Rossel Sosa (mamá Vilma) y Sarbelio Calderón Orellana, por ser un ejemplo a seguir en mi vida, por su apoyo incondicional, gracias por estar conmigo para el logro de esta meta, los quiero mucho.

A MI FAMILIA EN GENERAL:

Por su apoyo incondicional y estar conmigo para el logro de esta meta, los quiero mucho.

A MIS AMIGOS:

A todos y cada uno, gracias por permitirme disfrutar de su amistad sincera y leal, por compartir momentos inolvidables.

A MI IGLESIA:

Ministerios Maranatha Sión Punilá 1, por instruirme, quererme y valorarme, gracias por siempre estar conmigo.

A MIS COMPAÑEROS:

Por los momentos compartidos a lo largo de estos años de estudio. Gracias.

BECADOS:

Por crear y compartir momentos muy especiales e inolvidables con mi persona a lo largo de estos años, gracias.

AGRADECIMIENTOS

- A MI ASESOR:** M.Sc. José Ramiro García Álvarez, por su ayuda, tiempo invertido y orientación, gracias por los consejos y palabras de ánimo brindado a lo largo de la investigación. Mi más sincera admiración respeto y agradecimiento.
- A LICDA. VILMA RAMOS:** Por transmitirme todos los conocimientos requeridos, guiarme y apoyarme en la realización de mi fase de campo. Muchas gracias.
- A MI AMIGO:** Hedward Chegüen, por ayudarme en la fase de campo en la realización de esta investigación. Gracias.
- A MIS CATEDRÁTICOS:** Por compartir sus conocimientos durante mi formación profesional como persona.
- A MIS EVALUADORES:** Por sus aportes y sugerencias constructivas que me orientaron para enriquecer esta investigación.
- A LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL:** Por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios para mi formación profesional.
- AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI- :** Por abrirme las puertas y permitirme formarme como profesional en esta casa de estudios.

A TODOS:

Quienes de una u otra manera me apoyaron y colaboraron en la realización de esta investigación, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE GRÁFICAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. OBJETIVOS	5
4.1 Objetivo general	5
4.2 Objetivos específicos	5
5. MARCO TEÓRICO	6
5.1 Ciclo hidrológico	6
5.2 Agua subterránea	6
5.3 Acuífero	6
5.3.1 Distribución vertical del agua subterránea	6
5.3.2 Clasificación de acuíferos	8
5.4 Aprovechamiento de agua subterránea	9
5.4.1 Pozo mecánico	9
5.4.2 Pozo artesanal	9
5.5 Calidad del agua subterránea	9
5.6 Parámetros de calidad de agua	10
5.6.1 Parámetros físico	10
5.6.2 Parámetros químicos	11
5.6.3 Parámetros microbiológicos	12
5.7 Contaminación del agua subterránea	13
5.7.1 Contaminación microbiológica	14
5.7.2 Contaminación por metales pesados	15
5.8 Índice Canadiense de Calidad del Agua	15
6. MARCO REFERENCIAL	17

6.1	Descripción del área de estudio	17
6.2	Ubicación del área de estudio	17
6.3	Demografía	17
6.4	Clima	18
6.5	Zonas de vida	18
6.6	Flora	19
6.7	Fauna	19
6.8	Características hidrogeológicas generales	19
	6.8.1 Red hidrológica	19
	6.8.2 Suelo	20
	6.8.3 Bosque	20
6.9	Contaminación ambiental	20
6.10	Investigaciones relacionadas con el tema	21
	6.10.1 Determinación y evaluación de la calidad del agua en zonas de recarga hídrica del municipio de Chiquimula.	21
	6.10.2 Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula.	21
	6.10.3 Investigación de la calidad del agua subterránea que consume la población de San Pedro, provincia de Chimborazo	22
7.	MARCO METODOLÓGICO	23
7.1	Estimación del número y distribución de pozos	23
	7.1.1 Tamaño de la muestra	23
	7.1.2 Distribución de la muestra	24
	7.1.3 Formulación de encuestas	25
	7.1.4 Variables de estudio	25
7.2	Análisis de la información	25
7.3	Evaluación de la calidad del agua subterránea	25
	7.3.1 Selección de pozos para muestreo	25
	7.3.2 Equipo de muestreo y su preparación	26
	7.3.3 Recolección de muestras	27

7.3.4	Preservación y transporte de las muestras de agua	27
7.3.5	Parámetros a evaluar	28
7.3.6	Determinación del Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI	29
7.4	Periodo de estudio	31
7.5	Lineamientos generales para la gestión integral del agua subterránea de la ciudad de Zacapa	32
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
8.1	Estimación del número y distribución geográfica de pozos	33
8.1.1	Estimación del nivel freático	36
8.2	Evaluación de la calidad del agua	38
8.2.1	Parámetros físico-químicos	38
8.2.2	Potencial de hidrógeno (pH)	38
8.2.3	Temperatura	40
8.2.4	Conductividad eléctrica	44
8.2.5	Oxígeno disuelto	47
8.2.6	Turbidez	50
8.2.7	Sólidos disueltos totales	53
8.2.8	Dureza	56
8.2.9	Sulfatos	59
8.2.10	Nitratos	62
8.2.11	Nitritos	65
8.2.12	Demanda Biológica de Oxígeno	68
8.2.13	Fosfatos	71
8.2.14	Arsénico	74
8.3	Bacterias coliformes fecales	77
8.4	Calidad del agua subterránea del casco urbano de la ciudad de Zacapa	80
8.5	Propuesta de lineamientos generales para mejorar la calidad del agua que utiliza la población de la ciudad de Zacapa	82
8.5.1	Matriz de lineamientos generales enfocados a mejorar la calidad del agua subterránea que utiliza la población de la	

ciudad de Zacapa	83
9. CONCLUSIONES	87
10. RECOMENDACIONES	88
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
12. ANEXOS	96
13. APÉNDICES	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1	Población por municipio del departamento de Zacapa, año 2016	18
2	Distribución de las encuestas por zona	24
3	Número estimado de pozos, en el casco urbano de la ciudad de Zacapa, 2019	33
4	Tipo de pozos y tipo de abastecimiento en la ciudad de Zacapa, 2019	35
5	Nivel freático de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	36
6	Resultados de potencial de hidrogeno (pH) en pozos bajo estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	39
7	Resultados de la temperatura del agua subterránea en pozos bajo estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	42
8	Resultados de conductividad de los pozos bajo estudio muestreados en la ciudad de Zacapa, 2019	45
9	Oxígeno disuelto del agua de los pozos bajo estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	48
10	Resultados de turbidez de los pozos bajo estudio muestreados en la ciudad de Zacapa, 2019	51
11	Resultados de sólidos disueltos totales en los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	54
12	Resultados de dureza de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	57
13	Resultados de sulfatos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	60
14	Resultados de nitratos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	63
15	Resultados de nitritos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	66

16	Resultados de la demanda biológica de oxígeno (DBO5) de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	69
17	Resultados de fosfatos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	72
18	Resultados de arsénico de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	75
19	Resultados de coliformes fecales de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019	78
20	Clasificación de la calidad del agua subterránea de los pozos muestreados	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1	Escala de clasificación de la calidad de agua	16
2	Interpretación de la clasificación del Índice Canadiense de Calidad del Agua	31
3	Matriz de lineamientos generales enfocados a mejorar la calidad del agua subterránea que utiliza la población de la ciudad de Zacapa.	83

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Contenido	Página
1	Valores promedio de pH del agua en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	39
2	Valores promedio de temperatura del agua en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	41
3	Valores promedio de conductividad eléctrica en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	44
4	Valores promedio de oxígeno disuelto en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	47
5	Valores promedio de turbidez en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	50
6	Valores promedio de solidos disueltos totales en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	53
7	Valores promedio de dureza en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	56
8	Valores promedio de sulfatos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	59
9	Valores promedio de nitratos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	62
10	Valores promedio de nitritos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	65
11	Valores promedio de DBO5 en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	68
12	Valores promedio de fosfatos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	71
13	Valores promedio de arsénico en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	74
14	Valores promedio de coliformes fecales en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019	77
15	Promedio de calidad de agua en los pozos bajo estudio	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Distribución vertical del agua	7
2	Clasificación de acuíferos	8
3	Contaminación del agua subterránea	14
4	Ubicación de los pozos muestreados en la ciudad de Zacapa, 2019	34
5	Isocromáticas del área de la ciudad de Zacapa, 2019	37
6	Mapa de pH del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	40
7	Mapa de temperatura del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	43
8	Mapa de conductividad eléctrica del agua subterránea, en la ciudad de Zacapa, 2019	46
9	Mapa de oxígeno disuelto del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	49
10	Mapa de turbidez en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	52
11	Mapa de sólidos disueltos totales en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	55
12	Mapa de dureza en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	58
13	Mapa de sulfatos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	61
15	Mapa de nitratos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	64
16	Mapa de nitritos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	67
17	Mapa de la Demanda Biológica de Oxígeno en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	70

18	Mapa de fosfatos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	73
14	Mapa de arsénico en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	76
19	Mapa de coliformes fecales en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019	79

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para la vida, utilizado en la mayoría de actividades humanas, sin embargo, a pesar de considerarse de relevancia para la sociedad por ser utilizado en procesos industriales, agrícolas y ganaderos; es uno de los recursos naturales más degradados y contaminados. Por considerarse un solvente universal es común encontrar en aguas superficiales y subterráneas un gran número de compuestos, que en determinadas concentraciones (físicos, químicos o bacteriológicos) pueden ser nocivos para la salud de los consumidores y el medio ambiente. La calidad del agua se refiere a las condiciones en que está, se encuentra respecto a características físicas, químicas o bacteriológicas, tanto en estado natural como después de ser utilizadas en actividades antropogénicas.

La ciudad de Zacapa se encuentra ubicada en el departamento Zacapa, cuenta con una población aproximada de 26,931 habitantes y 8,350 viviendas. Dentro de los servicios básicos con que cuenta la ciudad, están el servicio de distribución de agua potable por la red municipal, sin embargo, en los últimos años, se ha visto limitada ante el crecimiento demográfico y económico de la ciudad; ante esta realidad; la población ha optado por estrategias para abastecerse de otras fuentes, recurriendo principalmente al agua subterránea a través de la perforación de pozos artesanales y mecánicos.

La presente investigación se realizó en el área urbana de la ciudad de Zacapa, con el propósito de determinar el número de pozos, evaluar la calidad del agua subterránea a partir de análisis físicos, químicos y bacteriológicos por medio del índice canadiense de calidad de agua (CCME_WQI), y proponer lineamientos generales que contribuyan con la gestión integral del recurso hídrico subterráneo.

Para realizar la investigación, se seleccionó una muestra de 25 pozos; (4 pozos por cada kilómetro cuadrado) que permitió datos representativos de la calidad del agua subterránea en la ciudad de Zacapa.

Para determinar el Índice Canadiense de Calidad de Agua, se analizaron 14 parámetros: potencial de hidrógeno, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, Demanda Biológica de Oxígeno, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, coliformes fecales y arsénico; de acuerdo al método estándar para análisis de agua utilizado en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente (CUNORI).

Los resultados obtenidos muestran que de la totalidad de los pozos muestreados (25 pozos), la calidad del agua se clasifica como “mala” de acuerdo a la metodología del Índice Canadiense de Calidad de Agua, presentando valores de 19.10% - 36.42%, donde se concluye que el agua subterránea en la ciudad de Zacapa no es apta para consumo humano sin tratamiento previo, a causa de: alta temperatura, altas concentraciones de dureza, nitratos, sulfatos, coliformes fecales arsénico y baja concentraciones de oxígeno disuelto, que pueden provocar efectos nocivos a la salud.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural único y limitado, indispensable para la vida, así como para el desenvolvimiento de las capacidades productivas de una sociedad, sin embargo, una de las mayores amenazas es su vulnerabilidad, susceptible a ser degradada y usada de manera inadecuada.

El desarrollo sostenible de una región está relacionado con la conservación de los recursos naturales, donde el agua es fundamental al ser insustituible por otras sustancias. La sostenibilidad del agua tiene dos componentes fundamentales: la disponibilidad y la calidad, ambos íntimamente relacionados; si la calidad es deficiente implica que habrá un decrecimiento en la disponibilidad, al igual la abundancia de agua sin los requerimientos necesarios provocará un déficit en el uso del recurso hídrico (Collazo y Montaña, 2012).

La población del casco urbano de la ciudad de Zacapa se abastece del agua superficial distribuida por la red municipal, sin embargo, ante el crecimiento demográfico y económico de los últimos años, la población del área urbana han optado por perforar pozos para suplir la necesidad del vital líquido; considerándola como “apta” para consumo humano dado que las características visuales que presenta permiten asumir que es apta para el consumo humano, porque se considera que se encuentran libres de contaminantes comunes en el agua superficial.

Según estimaciones de la Organización Mundial para la Salud (OMS) en el 2006, se ha demostrado que tres de cada 10 personas se abastecen de fuente de agua potable contaminadas por más de algún agente química o microbiológica perjudicial para la salud, sea este de origen natural o antropológico.

Ante este contexto, la investigación permitió estimar la población de pozos en el casco urbano de la ciudad de Zacapa, para luego seleccionar los pozos de estudio a los que se realizaron cuatro muestreos. Posteriormente se tomaron muestras de agua de pozo (dos en la época seca y dos en la época lluviosa) analizando 14 parámetros: potencial de

hidrógeno, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, demanda biológica de oxígeno, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, coliformes fecales y arsénico, con el propósito de determinar el Índice Canadiense de Calidad de Agua para posteriormente establecer su calidad.

Según los resultados, la ciudad de Zacapa cuenta aproximadamente con 527 pozos, que corresponden al 6.31% de las viviendas; la profundidad promedio de los pozos es de 21.2 metros; de acuerdo al Índice Canadiense de Calidad de Agua (CCME_WQI) se determinó que la totalidad de los pozos monitoreados tiene una calidad de agua clasificada como "mala", por lo que no es apta para consumo humano sin previo tratamiento, debido a que los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura, dureza, arsénico, nitratos, fosfatos y coliformes fecales presentaron valores fuera de los límites establecidos por la norma COGUANOR, la OMS y CONAGUA de México.

La investigación se realizó en el casco urbano de la ciudad de Zacapa, por espacio de seis meses, durante el año 2019.

2. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la vida, el desenvolvimiento de capacidades productivas y desarrollo de la población. Una sociedad con recursos hídricos tiene potencial productivo para satisfacer sus necesidades y permitir el desarrollo económico, social y ambiental.

El acceso al recurso agua de fuentes superficiales se ha visto afectado en las últimas décadas por la contaminación y la distribución.

Una de las fuentes de agua potable de Guatemala es el agua subterránea, ampliamente utilizada para abastecer el uso doméstico y productivo; actualmente la población se abastece de agua subterránea a pesar de la dificultad en acceso y costo.

La ciudad de Zacapa cuenta con una población aproximada de 26,931 habitantes, una de las más prósperas del oriente de Guatemala, producto del crecimiento poblacional y comercial; uno de los servicios básicos de mayor relevancia para la población es el servicio de agua potable que es provisto por la red municipal; a pesar de ello, existe una demanda creciente de agua en la ciudad y una estrategia para aumentar la oferta de agua es la perforación de pozos artesanales y mecánicos que han permitido abastecer de agua a la población.

El uso de agua subterránea en la ciudad de Zacapa se ha incrementado para satisfacer necesidades domésticas y productivas, pero una de las mayores limitantes es la escasa información sobre la calidad físico-química y microbiológica del agua subterránea que abastece la ciudad.

El objetivo de caracterizar el agua subterránea en el casco urbano de la ciudad de Zacapa, es generar información de la calidad físico-química y microbiológica; para conocer si reúne las características mínimas de acuerdo a los usos que actualmente se le confieren y proponer acciones para la gestión integral del recurso.

3. JUSTIFICACIÓN

El agua subterránea representa una fracción importante del volumen del recurso hídrico en los continentes, esta se aloja en acuíferos bajo la superficie de la tierra. El agua subterránea es un recurso importante, ya que de él se abastece una tercera parte de la población mundial aproximadamente, pero es de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y por la falta de información sobre su estado físico-químico y microbiológico.

La disponibilidad del recurso no solo depende específicamente del volumen, sino también de la calidad en la que este se encuentra; que cobra mayor importancia cuando el uso es para consumo humano, por los efectos nocivos que tiene para la salud.

Actualmente, en Guatemala los focos de contaminación en los acuíferos están relacionados con fuentes antropogénicas como: el lixiviado por sustancias desde la superficie y por causas naturales de tipo geológico.

La ciudad de Zacapa se ubica en el oriente de Guatemala dentro del corredor seco, el área es vulnerable a sequías y se dificulta el acceso al agua superficial; no obstante, el agua superficial es uno de las principales fuentes de abastecimiento para los habitantes. Ante este escenario, la población tiene la necesidad de perforar pozos de forma artesanales o mecánicos como una alternativa para abastecerse del recurso hídrico. Una de las limitaciones de esta alternativa, es la escasa información sobre la calidad del agua subterránea de la ciudad de Zacapa.

Determinar el estado de la calidad del agua subterránea permite identificar los contaminantes y sus fuentes, así como conocer la vulnerabilidad del recurso y definir acciones para su protección; permitiendo reducir las amenazas que tiene el agua subterránea en la ciudad de Zacapa.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterizar la calidad del agua subterránea en la ciudad de Zacapa, para proponer lineamientos que permitan la gestión integral del recurso hídrico.

4.2 Objetivos específicos

- Estimar la población de pozos existentes en el casco urbano de la ciudad de Zacapa.
- Determinar los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para establecer la calidad del agua subterránea de la ciudad de Zacapa.
- Establecer la calidad del agua subterránea de la ciudad de Zacapa mediante el Índice Canadiense de Calidad de Agua (CCME_WQI).
- Proponer lineamientos generales para la gestión integral del recurso hídrico subterráneo de la ciudad de Zacapa.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Ciclo hidrológico

Es el sistema, por el cual el agua circula desde océanos y mares hacia la atmósfera y de allí hacia los continentes, donde retorna superficial o subterráneamente a los mares y océanos. El agua subterránea existente en la tierra, tiene origen en el ciclo hidrológico. Los factores que influyen en los procesos del ciclo hidrológico son fundamentalmente climáticos como: la temperatura del aire, intensidad de los vientos, la humedad relativa del aire, la insolación, el tipo y densidad de la cobertura vegetal (Collazo y Montaña, 2012).

5.2 Agua subterránea

Es el agua que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso, ocupando todos los poros del subsuelo, dando lugar a una zona de saturación denominada acuífero; esta fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes, manantiales o cauces fluviales. El agua subterránea es parte integral del ciclo hidrológico y puede ser encontrada casi en cualquier sitio, cerca del 97% del agua dulce del mundo es subterránea. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración (Collazo y Montaña, 2012).

5.3 Acuífero

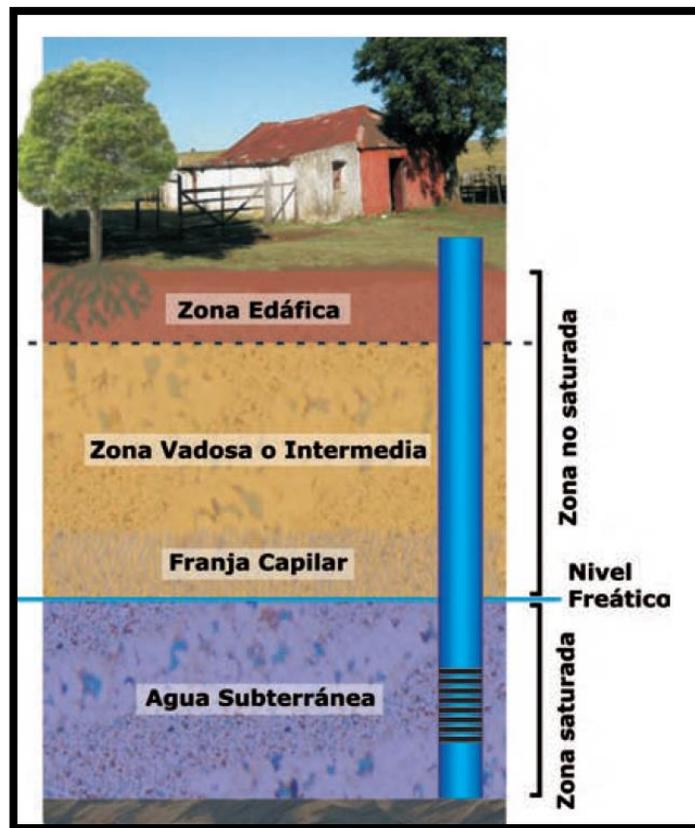
Se denomina acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación como pozos, sondeos, galerías, etc. Un acuífero es una formación geológica que contiene suficiente material saturado y permeable para producir cantidades de agua hacia los pozos y manantiales. La función más importante que realiza un acuífero es almacenar y transmitir agua (Gonzales, 2015).

5.3.1 Distribución vertical del agua subterránea

En un perfil de subsuelo, normalmente se presentan dos zonas con caracteres hidráulicos diferentes, integradas por varias franjas o fajas; entre estas se mencionan (Gonzales, 2015):

- **Zona no saturada:** Es la situada entre la superficie del terreno y la superficie freática y sus poros y/o fisuras están ocupados por agua y aire.
- **Zona de saturación:** Se encuentra por debajo de la zona de aireación, los poros o aberturas se encuentran completamente llenos de agua, también se le llama zona de agua sostenida. Las aguas de percolación se localizan en esta zona.
- **Nivel freático:** Se encuentra en el límite superior de la zona saturada en un acuífero libre, indica el nivel debajo del cual el suelo y la roca están saturados con agua; su altura en un acuífero libre viene determinada por la cota que alcanza el agua de un pozo en reposo.

Figura 1. Distribución vertical del agua

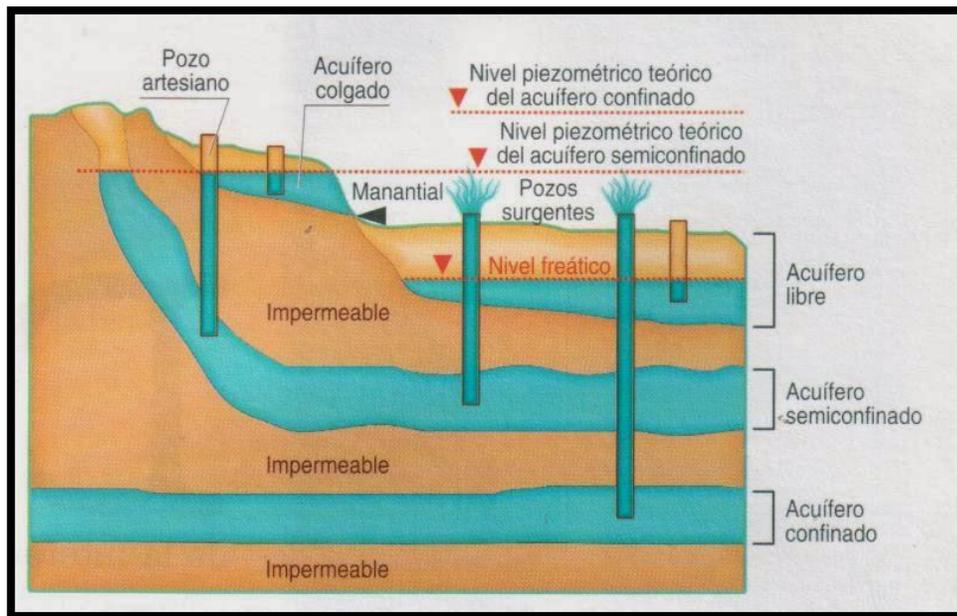


Fuente: Tomada de Collazo y Montaña (2012).

5.3.2 Clasificación de acuíferos

- **Acuíferos libres no confinados o freáticos:** Son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua, que está en contacto con el aire y por tanto a presión atmosférica (Girón, 2009).
- **Los acuíferos confinados:** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos (Ordoñez, 2011).
- **Acuíferos semicautivos o semiconfinados:** Son aquellos en los que la pared superior o inferior no es totalmente impermeable, sino que se trata de un acuitardo, es decir un material que permite la filtración del agua, pero de forma muy lenta, lo que sirve de alimentación al acuífero principal (Girón, 2009).

Figura 2. Clasificación de acuíferos



Fuente: Tomada de Collazo y Montaño (2012).

5.4 Aprovechamiento del agua subterránea

El agua subterránea se capta principalmente a través de pozos verticales, que son los más difundidos a nivel mundial y a través de pozos horizontales como galerías filtrantes y zanjas de drenaje. Un pozo, es una obra compleja, que se proyecta y se construye para obtener agua subterránea de un acuífero; con el objetivo de satisfacer una demanda determinada. La vida útil de un pozo puede ser de décadas, y una vez agotada se debe proceder al abandono del pozo mediante el sellado (Collazo y Montaña, 2012). Entre los tipos de pozos para la extracción de agua subterránea se mencionan (Girón, 2009):

5.4.1 Pozo mecánico

Excavación o perforación en el terreno mediante el uso de maquinaria específica, que alcanza profundidades considerables dentro del suelo llegando al agua subterránea, incluso a los acuíferos más profundos.

5.4.2 Pozo artesanal

Excavación en el terreno que alcanza el agua subterránea, utilizando únicamente herramientas manuales. La profundidad de los mismos alcanza el nivel freático.

5.5 Calidad del agua subterránea

Desde el punto de vista hidrogeológico la calidad del agua subterránea es tan importante como la cantidad explotable. La disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente de la calidad físico-química, biológica y geológica (Collazo y Montaña, 2012).

La calidad del agua es definida por su composición y por el conocimiento de los efectos que pueden causar sus constituyentes. El conjunto de todos los parámetros que la componen permiten establecer patrones de calidad de agua, clasificándola así de acuerdo con los límites establecidos de cada parámetro y los usos para la cual es apta como: consumo humano, agrícola, industrial, o abrevadero de ganado (Collazo y Montaña, 2012).

5.6 Parámetros de calidad de agua

Conocer los componentes disueltos o en otras formas del agua subterránea es una de las características más importantes a determinar; la presencia y concentración de determinados compuestos hace que el agua subterránea se diferencie de otras, los procesos y factores que influyen en la evolución de la calidad de las aguas subterráneas pueden ser intrínsecos o extrínsecos al acuífero. En principio, el agua subterránea tiende a aumentar las concentraciones de sustancias disueltas a medida que se infiltra y aumenta su recorrido en los distintos acuíferos. Entre los principales parámetros se mencionan los siguientes:

5.6.1 Parámetros físicos

Son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato, entre estos se encuentra:

- **Temperatura:** La temperatura es un dato útil porque participa en la solubilidad de sales y de los gases que influyen en la conductividad y en el pH (Girón, 2009). Es poco variable y responde a la media anual de la temperatura atmosférica del lugar; En la profundidad depende del gradiente geotérmico, que aumenta 1° cada 30 metros (Collazo y Montaña, 2012).
- **Conductividad eléctrica:** Se define como la habilidad de ésta para conducir calor o electricidad, debido a la presencia de sales inorgánicas en solución o electrolitos. Los iones cargados positiva y negativamente son los que inducen la corriente y la cantidad conducida será directamente proporcional al número de iones presentes y su movilidad (Girón, 2009).
- **Color:** Su presencia en el agua se debe a los vertidos de residuos, presencia de compuestos metálicos, sólidos en suspensión o de la descomposición de vegetales y bacterias (Quintuña y Samaniego, 2016).
- **Turbidez:** Es originada por las partículas en suspensión o coloidales (arcillas, limo, entre otros); se mide en unidades nefelométricas de turbiedad y se realiza mediante un turbidímetro (Cánepa, 2004).

5.6.2 Parámetros químicos

El agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre los que podemos mencionar:

- **Dureza:** Hace referencia a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. La dureza del agua es consecuencia del contacto con los suelos y rocas, en particular la piedra caliza, en presencia de CO_2 . Los iones que provocan la dureza tienen su origen en el suelo y en las formaciones geológicas. Pese a que instancias como la Organización Mundial de la Salud –OMS- y otras, no proponen ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza del agua de consumo; según el consumo prolongado de aguas con concentraciones mayores a 120 mg/l de CaCO_3 presenta un factor de riesgo en la formación de cálculos de las vías urinarias como Calculosis renal o Litiasis urinaria (Girón, 2009).
- **pH (potencial de Hidrógeno):** El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua (López, 2018).
- **Oxígeno disuelto:** Es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, las aguas servidas generalmente carecen de oxígeno disuelto, debido a la cantidad de materia orgánica; sin embargo, este valor puede diferir en algunos casos a causa de la relación con el ambiente y la temperatura del agua. La disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua es el factor que limita la capacidad de purificación (Cerón, 2016).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Mide la capacidad del agua de consumir oxígeno durante procesos químicos. Los valores comunes en las aguas subterráneas se sitúan de 1 a 5 mg/l (Gonzales, 2015).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** Es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para consumir la materia orgánica contenida en el agua mediante procesos biológicos aeróbicos. Es una medida importante de la contaminación del agua y debe referirse a un cierto tiempo (24 horas, 5 días, etc.). Valores superiores a 1 ppm de O₂ indican contaminación (Gonzales, 2015).
- **Otros parámetros:** también se pueden analizar parámetros como sólidos totales, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, metales pesados, entre otros (Cerón, 2016).

5.6.3 Parámetros microbiológicos

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excretas humanas o de animales (incluidos los de las aves). Los excrementos pueden ser fuente de patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos (Cerón, 2018).

El principal parámetro que determina la calidad microbiológica del agua es la presencia de coliformes, un grupo de especies bacterianas que se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, aunque muchas están distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Se considera como indicador de contaminación fecal en el agua todos los tipos de coliformes ya que su origen es principalmente fecal. La ausencia de coliformes indica que el agua es bacteriológicamente segura (Girón, 2009).

El número es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces. Dentro de los Coliformes totales (CT), se encuentran los Coliformes fecales (CF), que provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente y que son los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas; *Escherichia coli*, la cual provoca (principalmente en niños) el síndrome diarreico agudo (Girón, 2009).

5.7 Contaminación del agua subterránea

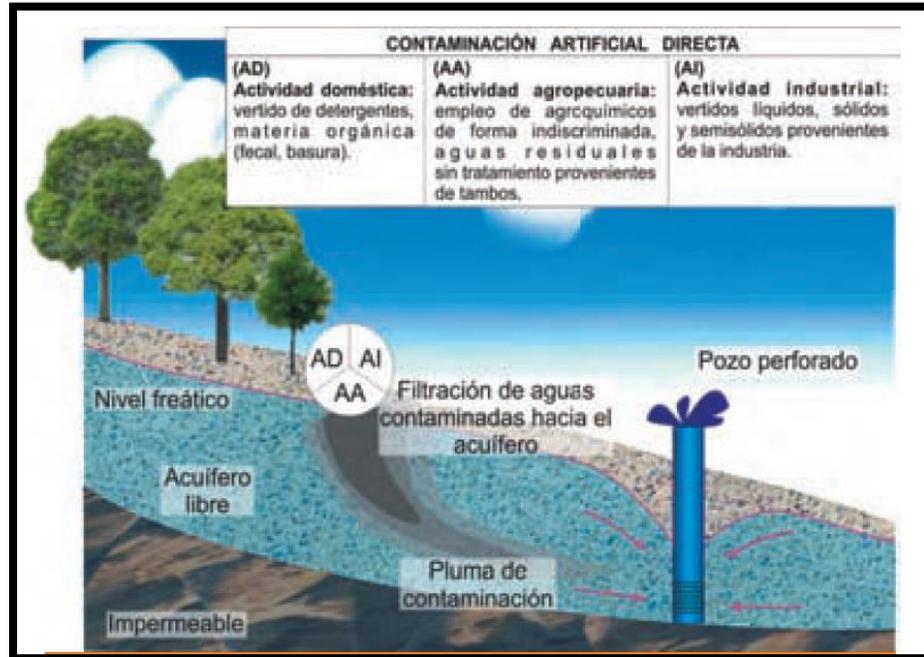
La contaminación es la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables. La contaminación del agua subterránea se debe a dos factores principales (Cerón, 2016):

- **Naturales:** Es la producida por el contacto que tiene el agua con el tipo de geología del acuífero.
- **Artificiales:** Es la más común y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce (urbana y rural) o a la actividad que la genera las cuales pueden ser domésticas, industriales, agropecuarias.

La contaminación del agua subterránea se considera más grave que la del agua superficial. En los acuíferos, como su flujo es tan lento y los volúmenes tan grandes, se necesita mucho tiempo para que se renueve varias veces toda el agua contenida en él, e incluso entonces el problema persiste por las sustancias que quedaron adsorbidas en el acuífero (Alfaro et al., 2014).

La migración de los contaminantes en los suelos y acuíferos depende mucho de las propiedades de las sustancias y de los materiales geológicos del área. Mientras más soluble en agua sea una sustancia, con mayor probabilidad y facilidad bajará verticalmente por el suelo hasta alcanzar el acuífero (Girón, 2009).

Figura 3. Contaminación del agua subterránea



Fuente: Tomado de Collazo y Montaña (2012).

El agua subterránea puede contaminarse por (Gonzales, 2015):

- Solución de sales del subsuelo.
- Sobre bombeo que puede provocar intrusión de agua de inferior calidad o de agua salada.
- Infiltración de aguas de riego o lluvia.
- Infiltración de aguas residuales procedentes de letrinas, drenajes de tanque sépticos o lagunas de estabilización.
- Los sistemas de alcantarillado.
- Descarga de desechos industriales en estanques o lagunas, que den origen a la entrada de contaminantes químicos en solución.

5.7.1 Contaminación microbiológica

Contaminación causada por la presencia elevada de virus, bacterias, esporas de hongos, protozoos, algas (cyanobacteria) y excreciones animales o humanas. Estos se reproducen y se transmiten a través del agua, suelo y aire. Dentro de los contaminantes microbiológicos más comunes en los cuerpos hídricos se encuentran: coliformes fecales, coliformes totales y *Escherichia coli*. La presencia de las coliformes fecales y *Escherichia*

coli, en el agua de pozos se debe a la lixiviación de las aguas servidas hacia el manto freático por medio de los ríos o por la lixiviación directa desde las letrinas y fosas sépticas (Citado por Cerón, 2016).

5.7.2 Contaminación por metales pesados

La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local (Reyes et al, 2016).

Específicamente, la contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural, está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública. Se reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Reyes et al., 2016).

Por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bio-acumulación de metales pesados resulta alarmante. Dependiendo del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Reyes et al., 2016)..

Es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera, Las especies formadas según el estado de oxidación son variadas y pueden ser de origen inorgánico u orgánico. El As(III) puede provenir de la reducción biológica del As (V), y predomina en zonas cercanas a industrias con efluentes ricos en As(III), aguas geotermales y ambientes reductores. En general, en aguas superficiales, el As(V) predomina sobre el As(III) especie de mayor toxicidad. En aguas subterráneas pueden encontrarse ambos estados de oxidación ya que las concentraciones de As(III) y As(V) dependen de la entrada del As al sistema, de las condiciones redox y de la actividad biológica (Reyes et al., 2016).

5.8 Índice Canadiense de Calidad del Agua

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés), el cual propone una evaluación más amplia de la calidad del agua en un periodo de tiempo determinado teniendo en cuenta el número de parámetros que superan un estándar de referencia, el número de datos que no cumplen con el mencionado estándar y la magnitud de superación (CCM, 2001). Cabe señalar que esta metodología se caracteriza por su flexibilidad respecto al tipo y número de parámetros empleados.

Este índice se basa en la determinación de tres factores (F1, F2 Y F3) que representan el alcance, frecuencia y amplitud; incorporando los resultados de los múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática dando el resultado en porcentaje; la ecuación es la siguiente:

$$\text{CCME. WQI} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

El resultado obtenido es interpretado de acuerdo con la escala de clasificación:

Cuadro 1. Escala de clasificación de la calidad de agua

CCME_WQI	Clasificación
95 – 100	Excelente
80 – 94	Buena
65 – 79	Favorable
45 - 64	Regular
0 - 44	Mala

Fuente: Elaboración propia, 2020.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio comprende la ciudad de Zacapa, específicamente el casco urbano del municipio y departamento del mismo nombre. Con una población aproximada de 30,000 habitantes y una extensión territorial de 6.2 km², la ciudad está dividida en 4 zonas y cuenta con aproximadamente 8,350 viviendas según datos de la sección de enfermedades transmitidas por vectores del Ministerio de Salud Pública y Social (apéndice 1). Dentro de los servicios básicos que dispone se mencionan alumbrado público, sistemas de drenajes, recolección de desechos sólidos y agua potable (Argueta, 2005).

6.2 Ubicación del área de estudio

La ubicación de la ciudad de Zacapa está localizada dentro del cuadrante definido por las coordenadas: 601387.79 Y 606584.88 en "X" y 1657336.14 y 1657352.68 en "Y" (Sistema de Coordenadas GTM, Zona 15.5, Datum WGS84). El territorio del casco urbano se encuentra dividido por tres microcuencas: río Grande, río Punila y río Riachuelo.

El municipio de Zacapa colinda al Norte con los municipios de Estanzuela y Rio Hondo; al Este con el municipio de Gualán, La Unión (Zacapa) y el municipio de Jocotán (Chiquimula); al Sur La unión el municipio de Chiquimula y al Oeste con los municipios de Huité y Estanzuela (Molina, 2009).

6.3 Demografía

El departamento de Zacapa según proyecciones de la población del Instituto Nacional de Estadística -INE- cuenta al 2016 con una población total de 240,646 habitantes, siendo un 48.02% del sexo masculino y un 51.98% del sexo femenino (INE, 2008), basado en los datos de la caracterización departamental de Zacapa 2013, la distribución de la población es de 43.1% urbana y 56.9 rural.

Tabla 1. Población por municipio del departamento de Zacapa, año 2016.

Municipios	Población
Zacapa	57,504
Estanzuela	12,236
Río Hondo	18,602
Gualán	41,771
Teculután	18,945
Usumatlán	11,991
Cabañas	11,547
San Diego	6,128
La Unión	33,432
Huité	10,432
San Jorge	18,000
Total	240,646

Fuente: INE, 2008.

6.4 Clima

En Zacapa el clima es generalmente cálido (siendo marzo y abril, los meses más calurosos), con las siguientes temperaturas: media anual de 27°C, máxima de 33.9°C y, mínima de 21.3°C: debido a su posición geográfica y al hecho de estar situado entre la llamada Vertiente del Atlántico el departamento posee cierta variabilidad en sus condiciones climáticas (SEGEPLAN, 2011).

6.5 Zonas de vida

Basado en el Sistema Holdridge las zonas de vida de mayor importancia en el departamento de Zacapa son: Monte Espinoso Sub-Tropical, Bosque Seco Sub-Tropical, (en todo el valle del Río Motagua) y Bosque Húmedo Sub-Tropical Templado, representa el área boscosa del departamento como (SEGEPLAN, 2011):

- La Sierra de Las Minas (municipios de Usumatlán, Teculután y Río Hondo)
- La Montaña de las Granadillas (municipios de Zacapa y La Unión)
- El Bosque Nuboso (municipio de La Unión)
- Cumbre Alta (municipio de Gualán)
- Bosque El Gigante (municipios de Huité y San Diego)

6.6 Flora

El municipio de Zacapa cuenta con varias especies de plantas las que se desarrollan en forma salvaje, dentro de las cuales se puede mencionar a cactáceas, zarzales, bosques caducifolios en donde abundan los arbolillos de acaseas, yajes, aripines, brasil, mimosa, guayacán, manzanote y palo jiole, este recurso no es objeto de explotación por parte de los habitantes del Municipio. Las cactáceas se encuentran particularmente situadas en la parte central del Municipio, la vegetación natural características es de tipo Estepa o Cactus Gigantes, el cual se ha dejado de propagar por la depredación que tiene la fruta en época de verano (MINECO, 2017).

6.7 Fauna

Está conformada por; mamíferos, aves, reptiles y anfibios; el área con mayor importancia por su biodiversidad y sus recursos genéticos es la Sierra de las Minas; esta alberga por lo menos 885 especies de mamíferos, aves y reptiles, lo que representa el 70% de las registradas en Guatemala. Existen más de 400 especies de aves incluyendo algunas amenazadas como: *Pharomachrus mocinnoel*, *Harpia harpyja*, *Falco peregrinus* y el *Oreophasis derbianus*. Entre los felinos destacan: *Puma concolor*, *Panthera onca*, *Leopardus pardalis* y *Leopardus wiedi*, y entre los mamíferos se encuentran: el *Ateles*, *Alouatta pigra*, *Capra aegagrus hircus*, *Pecari tajacu* y *Tayassu pecari*. Además, la Sierra de las Minas alberga por lo menos 110 especies de reptiles y anfibios (SEGEPLAN, 2011).

6.8 Características hidrogeológicas generales

6.8.1 Red hidrológica

En el departamento de Zacapa se ubican dos cuencas, la del Río Motagua y la del Río Grande. La cuenca del Río Grande se caracteriza por poseer el déficit de humedad más alto entre las cuencas a nivel nacional.

La red de hidrología que atraviesa la ciudad de Zacapa es conformada por el río Grande, de sur a norte desembocando en el río Motagua, el río Punilá que nace en la aldea Pinalito llega al casco urbano de la ciudad de Zacapa y desembocando en el río Riachuelo; por

último, el río Riachuelo el cual nace en la montaña las Granadillas desembocando en el río Grande (MINECO, 2017).

6.8.2 Suelo

De acuerdo con la clasificación agrológica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos –USDA-, en el departamento de Zacapa se presentan 8 clases de suelos, que van desde suelos profundos y planos, a suelos superficiales y de topografía quebrada. El tipo de suelo predominante es la clase VII, que se caracteriza por poca profundidad con textura deficiente, topografía muy fuerte y quebrada, pendiente muy inclinada y con problemas de erosión y drenaje, no apto para cultivos; sin embargo, puede considerarse algún tipo de cultivo perenne, vocación forestal (o destinada a pastos) y es indispensable efectuar prácticas de conservación del suelo (SEGEPLAN, 2011).

6.8.3 Bosque

Según el Plan de Desarrollo Departamental de Zacapa, este cuenta con un total de 603 km² de superficie forestal, equivalente al 22.41% del territorio, principalmente la Sierra de las Minas con 19% de coníferas, 59% de latifoliadas y 22% de bosque mixto. Según el Instituto Nacional de Estadística –INE- cada año el departamento pierde 500 ha. de bosque, debido a incendios forestales naturales o provocados, tala ilegal, extracción de leña y al avance de la frontera agrícola (INE, 2013).

6.9 Contaminación ambiental

Las principales causas de contaminación ambiental en el departamento de Zacapa son (SEGEPLAN, 2011):

- Las aguas residuales o servidas: las cuales son vertidas en ríos sin tratamiento (a excepción de la cabecera municipal de Estanzuela, que cuenta con su planta de tratamiento).
- Los desechos sólidos: recolectados por el tren de aseo de cada municipio: que son depositados a cielo abierto en basureros municipales sin normas sanitarias y los basureros clandestinos o no autorizados.
- Aguas mieles: provenientes del beneficiado de café (que son vertidas a los ríos y quebradas sin tratamiento alguno).

6.10 Investigaciones relacionadas con el tema

6.10.1 Determinación y evaluación de la calidad del agua en zonas de recarga hídrica del municipio de Chiquimula

La investigación tuvo como objetivo determinar y evaluar la calidad del agua en las zonas de recarga hídrica del municipio. Dentro de los parámetros analizados para la determinación de calidad de agua según la metodología del –ICA- se encuentran: coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitratos, fosfatos, cambio de temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto. También se realizó una cuantificación de metales por absorción atómica, como: plata, arsénico, antimonio y plomo. (FODECYT No. 60-2012, Chiquimula, 2014)

Según los resultados el agua de las zonas de recarga hídrica no es apta para el consumo humano sin tratamiento, dado que supera el valor recomendado por la Normativa Guatemalteca –COGUANOR-. De acuerdo al ICA el agua de las zonas de recarga hídrica del municipio se clasifica como “buena” y “regular”, según la metodología del ICA.

El análisis de metales pesados muestra que el agua tiene presencia de plata, plomo, arsénico y antimonio en concentraciones superiores del valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud.

6.10.2 Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula

El estudio realizado por Girón (2009), tuvo como objetivo determinar la calidad del agua para consumo humano y el nivel freático de pozos artesanales en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula. Los resultados mostraron que el agua subterránea del casco urbano de la ciudad de Chiquimula contiene presencia de nitritos y nitratos, donde el 87.5% de los pozos muestreados tuvieron concentraciones que afectaban la salud de los consumidores y superaban el límite máximo permisible.

De acuerdo al análisis microbiológico, el agua subterránea no era apta para consumo humano, porque el 87.5% de los pozos muestreados estaban contaminados por bacterias coliformes siendo el 68.75% de origen fecal, que permitió concluir que, además de fosas sépticas y daños en la red de drenaje, existían otros materiales orgánicos en descomposición presentes en el suelo.

6.10.3 Investigación de la calidad del agua subterránea que consume la población de San Pedro Las Abras, provincia de Chimborazo

La investigación realizada por Sánchez (2014) en la provincia de Chimborazo, Cuenca, Ecuador, tuvo como objetivo estudiar la calidad del agua subterránea para consumo humano, a través del análisis de parámetros físicos, químicos (turbidez, alcalinidad, dureza, nitritos y nitratos, oxígeno D.) y bacteriológicos (Coliformes totales) del agua.

Los resultados mostraron que el agua subterránea que consumía la población de Chimborazo no presentaba niveles peligrosos en la calidad bacteriológica, ya que los parámetros se encontraban bajo lo establecido en el TULSMA y fuera de los límites permisibles en la Norma NTE INEN 1 108:2011.

De acuerdo al análisis físico-químico se concluyó que los parámetros analizados (alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos, oxígeno disuelto y turbiedad), en los dos muestreos realizados cumplían con lo establecido en el TULSMA y en la norma NTE INEN 1 108:2011. Se concluyó que el agua era apta para consumo humano.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 Estimación del número y distribución de los pozos

El número de pozos existentes dentro del área urbana de la ciudad de Zacapa, se estimó en base al número de viviendas que actualmente tiene la ciudad; esta información se obtuvo a partir de la ejecución de un muestreo, por medio de encuestas dirigidas a las viviendas.

7.1.1 Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra y recopilación de datos, se utilizó la siguiente fórmula (citada por Girón, 2009):

$$n = \frac{n'}{1 + n'/N}$$

Siendo $n' = \frac{s^2}{o^2}$ sabiendo que:

o^2 es la varianza de la población respecto a determinadas variables.

s^2 es la varianza de la muestra, la cual podrá determinarse en términos de probabilidad como $s^2 = p(1-p)$

(se) es el error estándar que está dado por la diferencia entre $(\mu - X)$ la media poblacional y la media muestral.

$(se)^2$ es el error estándar al cuadrado, que nos servirá para determinar o^2 por lo que $o^2 = (se)^2$ es la varianza poblacional.

Para la presente investigación, se estimó una población total de 8,350 viviendas, según la sección de enfermedades transmitidas por vectores del Ministerio de Salud Pública (2013), con un error estándar menor de 0.015 y un nivel de confiabilidad del 90%.

$$N = 8,350$$

$$se = 0.015$$

$$o^2 = (se)^2 = (0.015)^2 = 0.000225$$

$$s^2 = p(1-p) = 0.90(1-0.90) = 0.09$$

$$n' = \frac{s^2}{o^2} = n' \frac{0.09}{0.000225} = 400$$

$$n = \frac{400}{1 + \frac{400}{8,350}} = 381.71 = \underline{382 \text{ viviendas}}$$

Para tener una mayor representatividad de cada una de las zonas de la ciudad, la distribución de muestra se realizó de manera proporcional, utilizando el siguiente factor de distribución.

$$f = \frac{n}{N} \quad f = 382/8,350 = 0.04574850299$$

El factor de distribución se multiplicó por la población total de cada estrato, en este caso el número de viviendas de cada zona, permitiendo identificar el número de encuestas por zona.

Tabla 2. Distribución de las encuestas por zona

Zona	Número total de Viviendas	Factor de distribución	Muestra
1	3,093	0.045748503	142
2	2,017		92
3	2,508		115
4	732		33
Total	8,350		382

Fuente: Elaboración propia, 2019.

7.1.2 Distribución de la muestra

La distribución de la muestra se realizó de forma aleatoria y estratificada, en donde los estratos estuvieron representados por cada zona del casco urbano; por el complejo patrón de distribución de las viviendas, la muestra correspondiente a cada estrato (zona).

Se distribuyó aleatoriamente a través de puntos geográficos sobre las calles y avenidas del casco urbano de la ciudad, utilizando para ello herramientas del programa ArcGis 10.2, de manera que se muestreó la vivienda más próxima a cada uno de los puntos geográficos definidos.

Mediante el uso de un dispositivo GPS se geo-posicionó la ubicación de los pozos bajo estudio, con la finalidad de hacer representaciones en mapas temáticos elaborados con el uso de la herramienta ArcGis.

7.1.3 Formulación de encuestas

A partir de la ubicación de los puntos geográficos definidos para el muestreo de las viviendas; se encuestaron las viviendas más cercanas a cada punto; estas se realizaron a través de boletas de campo, dichas boletas incluyeron además de la existencia de pozo en la vivienda, si este es mecánico o artesanal, el uso del agua, la ubicación geográfica y otros datos relevantes (ver apéndice 2).

7.1.4 Variables de estudio

Entre las variables respuestas que se presentaron en la boleta de campo se mencionan las siguientes:

- Tipo de pozo
- Tipo de abastecimiento de agua domiciliar
- Uso del agua
- Ubicación

7.2 Análisis de la información

La información recopilada se procesó utilizando hojas de cálculo electrónica (Microsoft Excel). Debido a que la información recopilada es principalmente descriptiva, el procesamiento consistió en la determinación de relaciones porcentuales para las variables evaluadas. La información recopilada se utilizó en la elaboración de mapas temáticos.

7.3 Evaluación de la calidad del agua subterránea

7.3.1 Selección de pozos para muestreo

Para evaluar la calidad del agua subterránea del acuífero del casco urbano de la ciudad de Zacapa, se seleccionaron como unidad de muestreo los pozos artesanales y mecánicos en la ciudad de Zacapa.

Alvarado (2000) señala que, dependiendo de los objetivos de estudio, como promedio se considera adecuada la densidad de un punto de muestreo (pozo) por 1km² (citado por

Girón, 2009). Sin embargo, con el fin de obtener una mayor representatividad se muestrearán 4 pozos por km²; la ciudad de Zacapa tiene una extensión de 6.2 kilómetros cuadrados, por lo que se pretende muestrear un total de 25 pozos, bajo los siguientes criterios:

- Diferentes distanciamientos respecto a la red municipal
- Obtener la mayor representatividad geográfica posible.
- Obtener mayor información de la calidad de agua subterránea a menor distanciamiento entre pozos.

7.3.2 Equipo de muestreo y su preparación

Para la preparación de los equipos de toma de muestra se siguió el procedimiento establecido en el protocolo del Laboratorio Ambiental de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental del Centro Universitario de Oriente.

Los materiales y equipos utilizados en la recolección de las muestras de agua fueron los siguientes:

- Libreta de campo
- GPS
- Dispositivo portátil multi-parámetros (previamente calibrado)
- Botellas plásticas de 1 L (análisis fisicoquímico)
- Botellas plásticas de 100 ml (análisis microbiológico)
- Hielera con hielo
- Sondas de conductividad y oxígeno disuelto.

Preparación de recipientes para la recolección de las muestras:

- Los recipientes fueron preparados mediante el lavado con detergente libre de fosfatos (PO_4^{3-}) detergente iónico o Extran.
- Una vez terminado el lavado y enjuagado se procedió a lavar los recipientes con solución de ácido clorhídrico (HCL) al 2% por triplicado, para eliminar las sales que puedan existir en ellos.
- Finalmente se enjuagaron los frascos con agua destilada, para eliminar los residuos del HCL de los recipientes.

7.3.3 Recolección de muestras

La colecta de las muestras de agua, se realizó mediante el procedimiento siguiente:

- Purga del pozo: Se ubicó la llave de paso más cercana al pozo, dejando fluir el agua durante 5 min, aproximadamente; con el propósito de remover el agua estancada y homogenizar la muestra.
- Colecta de la muestra: Una vez homogenizada el agua, se realizó la recolección de muestra, con dos tipos de recipientes según los parámetros a evaluar. Para el caso de los parámetros físico-químicos, la muestra de agua se recolecto utilizando 1 bote de plástico, de 1Lt. c/u. Para los parámetros bacteriológicos, se utilizó 1 bote plástico especial para ese fin, con capacidad de 125 ml. En ambos casos se dejó un espacio de aire dentro del recipiente para facilitar la agitación del agua en el mismo (OMS, 2006).
- Por último, se midieron los niveles de oxígeno disuelto, pH, temperatura y la conductividad eléctrica con sondas multiparámetros.
- Los recipientes fueron etiquetados con nombre (del lugar donde fue tomada la muestra), fecha y hora.

7.3.4 Preservación y transporte de las muestras de agua

Los métodos de preservación van dirigidos usualmente a retardar las acciones biológicas; retrasando el hidrólisis de los compuestos químicos y reducir la volatilidad de los constituyentes.

Tomadas las muestras de agua subterránea, se procedió a cerrar herméticamente el frasco evitando cualquier derrame del líquido, esta se conservó en cajas térmicas (hieleras) con suficiente hielo para mantener una temperatura interna de 4°C, permitiendo reducir la velocidad de las acciones microbianas. Las muestras recolectadas fueron llevadas al Laboratorio Ambiental de CUNORI en el menor tiempo posible (menos de 24 horas), cumpliendo estrictamente con las exigencias de preservación y tiempo de almacenamiento.

7.3.5 Parámetros a evaluar

a. Parámetros a nivel de campo

- Potencial de hidrógeno (en unidades de pH)
- Temperatura (en °C)
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)

Estos parámetros fueron tomados a partir del uso del dispositivo multi-parámetros (calibrado previamente) en las muestras de agua, realizando las mediciones correspondientes.

b. Parámetros a nivel de laboratorio

Parámetros físicos

- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT en mg/l)

c. Parámetros químicos

- Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L)
- Dureza (Dureza en mg/L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Nitritos (NO₂ en mg/L)
- Fosfatos (PO en mg/L)
- Sulfatos (SO₄ en mg/L)
- Arsénico (As en mg/L)

d. Parámetros microbiológicos

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mg/L)

Se tomaron en cuenta los límites máximos aceptables y permisibles establecidos por la norma COGUANOR NGO 29.001 del año 2009, y los límites establecidos en el año 2006 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y CONAGUA (2007) (ver apéndice 3).

- **Límite Máximo Aceptable:** Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazada por los consumidores, desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

- **Límite Máximo Permisible:** Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

7.3.6 Determinación del Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI

La metodología que se empleó en la investigación consistió en el método Canadian Water Quality Index conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés). Este método fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas; se basa en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud.

Una vez que se tienen los tres factores, el índice puede calcularse, sumándose los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice, utilizando la siguiente fórmula para obtener el índice canadiense de calidad de agua:

$$CCME.WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

El valor de 1.732 normaliza el resultado a un valor entre 0 – 100, donde 0 representa la “peor” calidad y 100 la “mejor” calidad de agua.

Para el cálculo del índice es necesario operar los tres factores de la siguiente manera:

F1 (alcance) representa el porcentaje de parámetros que no cumplen con lo normado (“parámetros fallidos”), al menos una vez en el periodo que se analiza, con respecto al número total de parámetros que se escogieron:

$$F1 = \left(\frac{\text{parámetros fallidos}}{\text{total de parámetros}} \right) * 100$$

F2 (frecuencia) representa el porcentaje de ensayos individuales que dieron resultados diferentes a lo normado (ensayos fallidos) del total de ensayos que se realizaron. Con ensayos se refiere al análisis de laboratorio que se realiza para cada parámetro.

$$F2 = \left(\frac{\text{ensayos fallidos}}{\text{total de ensayos}} \right) * 100$$

F3 (amplitud) representa cuan diferente dio el resultado del ensayo con respecto al valor establecido. Este factor se calcula en tres etapas:

- a) El número de veces por el cual cada valor fallido es mayor (o menor, en el caso de que lo normado sea un valor mínimo) que el valor establecido se denomina “excursión”. En el caso de que el valor calculado no deba exceder lo normado se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Excursión} = \left(\frac{\text{valor fallido}}{\text{valor normado}} \right) - 1$$

En el caso de que el valor calculado no deba ser menor que lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Excursión} = \left(\frac{\text{valor normado}}{\text{valor fallido}} \right) - 1$$

- b) A continuación, se calculó la suma normalizada de las excursiones (nse, siglas en ingles), dividiendo la sumatoria de las excursiones entre el total de ensayos realizados (tanto los que dieron valores que no cumplen con lo normado como los que si cumplen):

$$\text{nse} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursión}}{\text{total de ensayos}}$$

- c) Finalmente, el factor F3 se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$F3 = \left(\frac{\text{nse}}{0.01\text{nse}+0.01} \right)$$

Este índice tiene como ventaja que no requiere realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o pesos de los mismos dentro del cálculo del índice; así mismo identifica aquellos parámetros que no cumplen con los niveles establecidos y la frecuencia en que esto se produce. Otra de las ventajas que esta metodología aporta es que no obliga a adoptar parámetros específicos para el cálculo, sino que deja abierta la elección de los mismos al buen juicio profesional, situación diferente a los otros índices donde no se admiten que los parámetros sean modificados de acuerdo a las características naturales del recurso.

La clasificación de la calidad del agua según la metodología del Índice de Calidad de Agua canadiense se compone de cinco categorías (ver cuadro 2) las cuales son (Balmaseda y Garcia, 2014):

- **Excelente: (95-100)** - La condición del recurso es casi igual a la de su estado natural, sin deterioro de su calidad. No requiere tratamiento para su consumo.

- **Buena: (80-94)** – La condición del recurso es cercana a la de su estado natural o a lo deseado, el deterioro de su calidad es menor.
- **Favorable: (65-79)** – La condición del recurso a veces difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad del agua esta ocasionalmente perjudicada.
- **Regular: (45-64)** – La condición del recurso en numerosas ocasiones difiere de su estado natural a lo deseado, la calidad se deteriora frecuentemente.
- **Mala: (0-44)** – La condición del recurso usualmente difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad casi siempre está deteriorada.

Cuadro 2. Interpretación de la clasificación del Índice Canadiense de Calidad del Agua

CCME-WQI	Calificación	Interpretación
95 – 100	Excelente	La calidad del agua se encuentra segura y libre de daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles perfectos libres de contaminación.
80 – 94	Buena	La calidad del agua se aleja de la excelente. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con alguna amenaza o daños de poca magnitud.
65 – 79	Favorable	La calidad del agua es ocasionalmente dañada o afectada por condiciones naturales o antrópicas. El agua a menudo se aleja de los valores deseados. Muchos de los usos necesitan tratamiento
45 – 64	Regular	La calidad del agua no cumple con varios de los objetivos de calidad por condiciones naturales o antrópicas, frecuentemente esta amenaza o dañada. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0 - 44	Mala	La calidad del agua no cumple con muchos de los objetivos de calidad por condiciones naturales o antrópicas, casi siempre está dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

7.4 Periodo de estudio

El periodo comprendido para la toma de datos y análisis de las muestras se realizó mediante cuatro muestreos, dos en la época seca (abril, mayo) y dos en época lluviosa (julio, agosto), dado que el cambio en los caudales producto de las precipitaciones afecta la composición química del agua subterránea, permitiendo la obtención de resultados representativos considerando las variaciones meteorológicas.

7.5 Lineamientos generales para la gestión integral del agua subterránea de la ciudad de Zacapa

A partir de los resultados obtenidos de los análisis de calidad de agua, se plantearon lineamientos generales que permitan mejorar el manejo y la gestión del acuífero del casco urbano de la ciudad de Zacapa; mediante la elaboración de estrategias que orienten al manejo integral del recurso hídrico, sin comprometer la integridad físico-química y microbiológica del agua subterránea.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Estimación del número y distribución geográfica de los pozos.

Con base a la información recopilada en las encuestas, se determinó que el 8.74% de las viviendas cuentan con pozo, estimando un total de 527 pozos en la ciudad. La mayor concentración de pozos se ubica en las zonas 2 y 4 (tabla 3); que corresponde a la parte baja de la ciudad de Zacapa, cercanas al cauce del río Grande; donde el sistema de agua potable municipal es limitado. Los resultados muestran que la mayoría de los pozos mecánicos son principalmente de propiedad municipal y comunal.

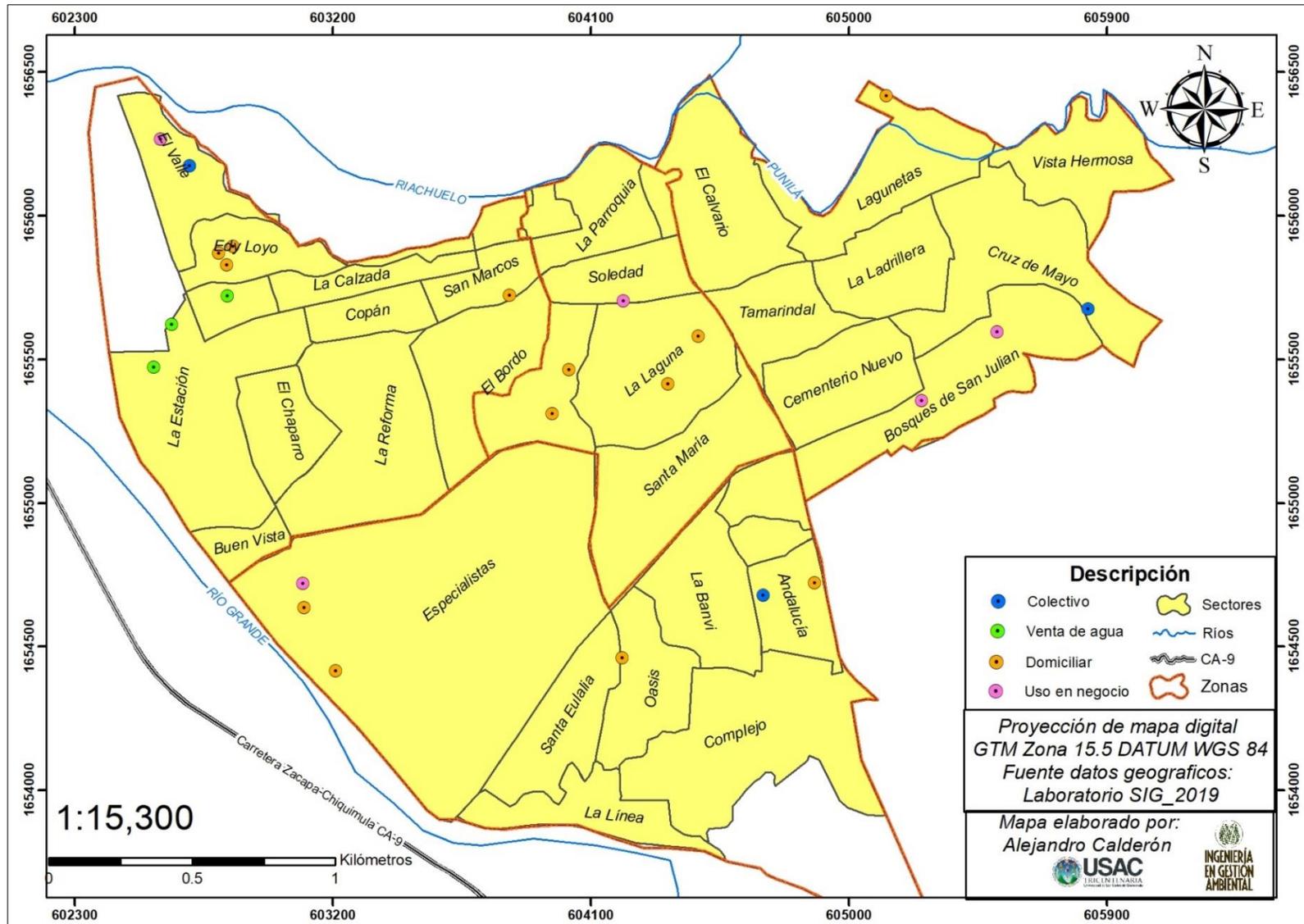
Tabla 3. Número estimado de pozos, en el casco urbano de la ciudad de Zacapa, 2019.

Zona	No. de viviendas	Muestra (viviendas)	Viviendas con pozo		No. de pozos estimados por zona
			En muestra	% por zona	
1	3093	142	5	3.52	109
2	2017	92	9	9.78	197
3	2508	115	4	3.48	87
4	732	33	6	18.18	133
Total	8350	382	24	8.74	527

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Es importante indicar que, el 54.16% de los pozos son de tipo domiciliar, 20.33% son usados para abastecer negocios, 12.5% son utilizados para la venta de agua y el restante 13% es de uso comunitario (figura 4). Asimismo, el 91.6% de los pozos son artesanales, únicamente el 8.3% son mecánicos; esta condición probablemente se deba a que se requiere poca profundidad para alcanzar el nivel freático.

Figura 4. Ubicación de los pozos muestreados en la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 4. Tipo de pozos y tipo de abastecimiento en la ciudad de Zacapa, 2019

Zona	Pozos (estimados)	Tipo de Pozo (%)		Tipo de uso (%)			
		Artisanal	Mecánico	Domiciliar ¹	Comercial		Colectivo ²
					Uso en negocio	Venta de agua	
1	109	80.00	20.00	80.00	20.00	0.00	0.00
2	197	100.00	0.00	44.40	11.10	33.33	11.11
3	87	100.00	0.00	25.00	50.00	0.00	25.00
4	133	83.33	16.66	66.66	16.66	0.00	16.66
Total	527	90.84	9.16	54.03	24.45	8.33	13.19

1. Domiciliar: Abastece a una vivienda.

2. Colectivo: Abastece a un barrio o colonia.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los factores que influyen en la distribución de los pozos en la ciudad de Zacapa son diversos, entre los cuales se mencionan:

Eficiencia en el sistema de abastecimiento municipal: Pese a las limitaciones del servicio municipal de agua potable, existen zonas y sectores donde el servicio es más eficiente (principalmente en zonas céntricas) esto de alguna forma evita la perforación de nuevos pozos; sin embargo, el incremento de la demanda por el aumento de la población puede provocar el incremento del número de pozos.

Profundidad freática: Este es uno de los factores determinantes, como se muestra en el mapa 3, los resultados muestran que la ubicación de pozos se concentra en las áreas de menor altitud relativa, facilitando su perforación para alcanzar la zona saturada del acuífero.

Crecimiento y expansión del área urbana: El crecimiento demográfico y desarrollo de proyectos urbanísticos en la ciudad como colonias y predios comerciales, promueven la perforación de pozos, porque es una estrategia para dar valor agregado a los inmuebles que ofrecen, así como suplir la necesidad de abastecerse del recurso hídrico.

8.1.1 Estimación del nivel freático

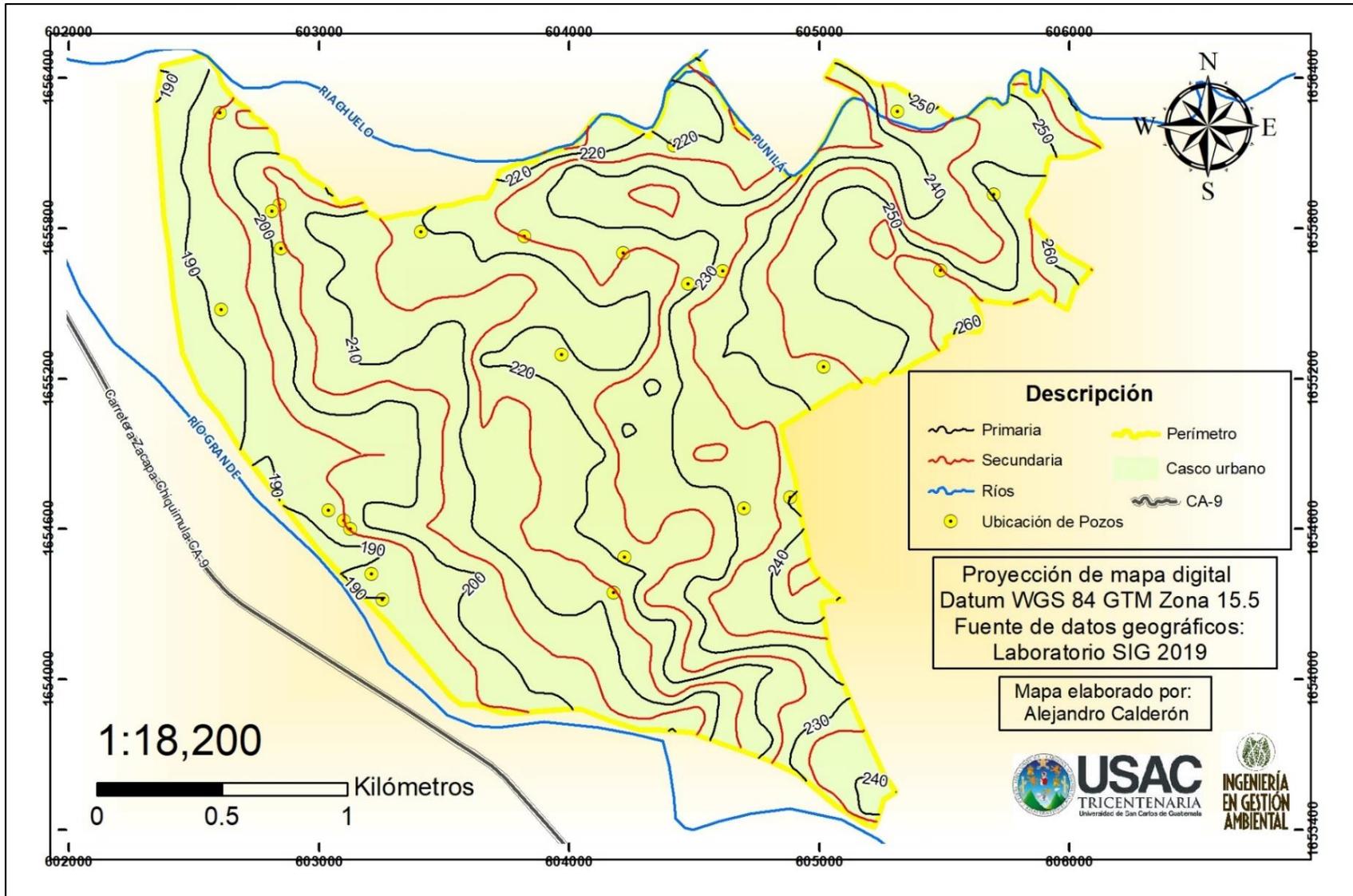
Las alturas relativas del nivel freático se ubican desde los 190 hasta los 265 msnm (apéndice 4); en las zonas 1 y 2 se presentan mayor altitud (245msnm), mientras que las zonas 2 y 4 presentan menor altitud (182msnm) tal como se muestra en la tabla 5. La profundidad promedio de los pozos muestreados es de 21.12 metros.

Tabla 5. Nivel freático de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Pozo	Lugar	Altitud (msnm)	Profundidad freática (m)	Nivel freático
P1	Z 1 P1	228.0	10.6	217.3
P2	Z 1 P2	231.0	16.5	214.5
P3	Z 1 P3	235.0	30.2	204.7
P4	Z 2 P1	216.0	26.0	190.0
P5	Z 2 P2	191.0	6.0	185.0
P6	Z 2 P3	227.0	25.9	201.0
P7	Z 2 P4	196.0	8.0	188.0
P8	Z 2 P5	190.0	8.0	182.0
P10	Z 2 P7	186.0	3.0	183.0
P11	Z 3 P1	251.0	5.9	245.0
P12	Z 3 P2	264.0	26.1	237.8
P13	Z 3 P3	228.0	15.0	213
P14	Z 3 P4	238.0	4.8	233.1
P16	Z 3 P6	250.0	27.9	222.1
P18	Z 4 P2	245.0	27.5	217.5
P19	Z 4 P3	231.0	27.9	203.0
P20	Z 4 P4	230.0	29.2	200.7
P21	Z 4 P5	209.0	7.7	201.2
P22	Z 4 P6	209.0	8.0	201.0
P23	Z 4 P7	206.0	6.4	199.5
P24	Z 4 P8	208.0	6.4	201.5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 5. Isofreáticas del área de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.2 Evaluación de la calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua, se debe determinar el grado de contaminación que posee un cuerpo hídrico, esto se determina mediante la toma de valores cuantitativos de los parámetros físico-químicos o bacteriológico, haciendo usos de métodos de laboratorio específicos.

8.2.1. Parámetros físico-químicos

Entre los parámetros físico-químicos analizados se mencionan: potencial de hidrógeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, sulfatos, arsénico, nitratos, nitritos, Demanda Biológica de Oxígeno, fosfatos.

8.2.2 Potencial de hidrógeno (pH)

El valor del pH es un indicador que determina el grado de acidez o alcalinidad de una disolución, este se representa en una escala del 1 a 14. Es esencial para determinados procesos químicos.

Según los resultados de la tabla 6, el pH promedio es de 6.91 unidades, que se puede considerar ligeramente ácido, de los muestreos realizados, el 36% de los pozos 20 se encuentra dentro de los límites aceptables (7.0- 7.5 unidades), y ninguno de los resultados sobrepasa los límites permisibles (6.5 – 8.5 unidades).

Los valores de pH del agua subterránea se comportan de manera homogénea sin cambio significativo entre los diferentes puntos y los monitoreos; únicamente en el tercer monitoreo se observan niveles de pH ligeramente ácidos en los pozos muestreados, esto puede estar influenciado por las precipitaciones de la época lluviosa.

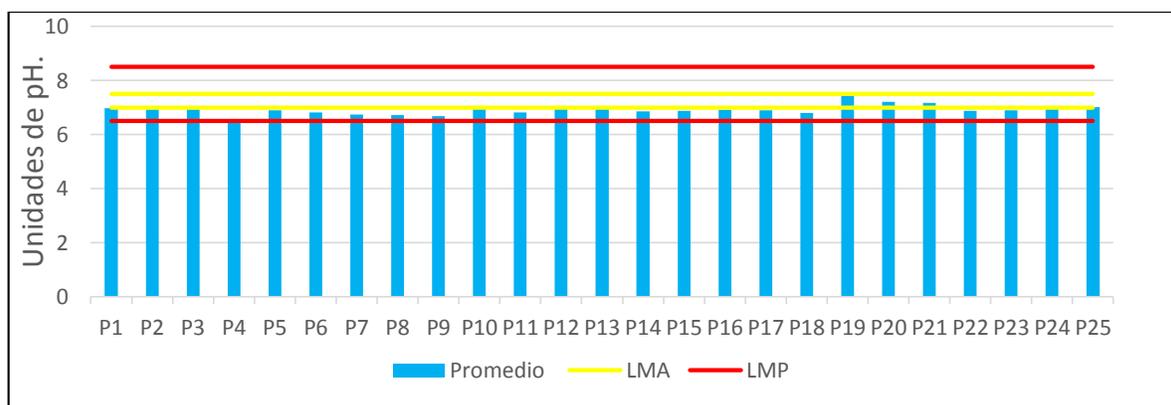
En la gráfica 1, se presenta los valores promedio de pH ligeramente ácidos en los pozos P4, P9, P8, P7 y P18, y en los pozos P19, P20 y P21 el pH es neutro; y en la figura 6 se presenta un mapa con la distribución espacial de pH en la ciudad de Zacapa.

Tabla 6. Resultados de potencial de hidrógeno (pH) en pozos bajo estudio de la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Unidades pH				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	7.55	7.29	5.88	7.19	6.97
P2	Z.1 P.2	7.61	7.16	5.90	7.04	6.92
P3	Z.1 P.3	7.61	7.09	6.04	6.98	6.93
P4	Z.2 P.1	7.45	5.94	5.98	6.90	6.56
P5	Z.2 P.2	7.52	7.14	6.06	6.88	6.90
P6	Z.2 P.3	7.51	6.91	5.83	7.02	6.81
P7	Z.2 P.4	7.49	6.93	5.92	6.61	6.73
P8	Z.2 P.5	7.45	6.98	5.90	6.54	6.71
P9	Z.2 P.6	7.46	6.84	5.76	6.67	6.68
P10	Z.2 P.7	7.85	7.33	5.82	6.95	6.98
P11	Z.3 P.1	7.45	6.88	5.91	6.99	6.80
P12	Z.3 P.2	7.76	6.99	5.99	7.13	6.96
P13	Z.3 P.3	7.58	7.02	6.16	7.09	6.96
P14	Z.3 P.4	7.41	7.01	6.06	6.93	6.85
P15	Z.3 P.5	7.50	6.96	6.02	6.99	6.86
P16	Z.3 P.6	7.74	7.02	5.95	6.93	6.91
P17	Z.4 P.1	7.47	7.03	6.01	7.04	6.88
P18	Z.4 P.2	7.51	6.91	5.96	6.77	6.78
P19	Z.4 P.3	7.83	7.29	7.41	7.28	7.45
P20	Z.4 P.4	7.96	7.39	6.17	7.32	7.21
P21	Z.4 P.5	7.50	7.98	6.12	7.11	7.17
P22	Z.4 P.6	7.62	7.08	6.04	6.75	6.87
P23	Z.4 P.7	7.50	6.96	6.06	7.03	6.88
P24	Z.4 P.8	7.62	7.15	6.09	7.00	6.96
P25	Z.4 P.9	7.69	6.96	6.16	7.25	7.01
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable 7.0 – 7.5		Límite máximo permisible 6.5 - 8.5		

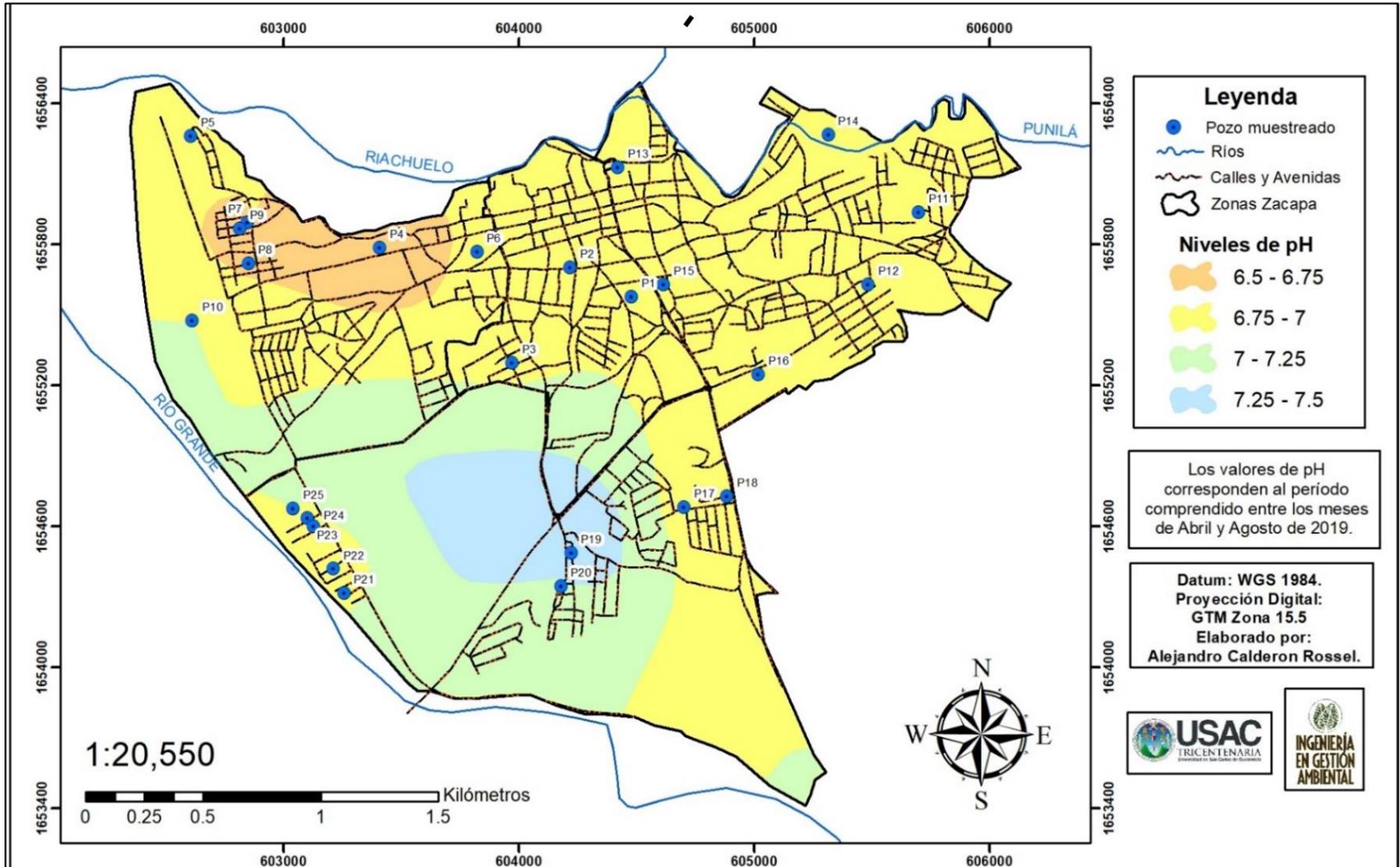
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Gráfica 1. Valores promedio de pH del agua en los pozos de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 6. Mapa de pH del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

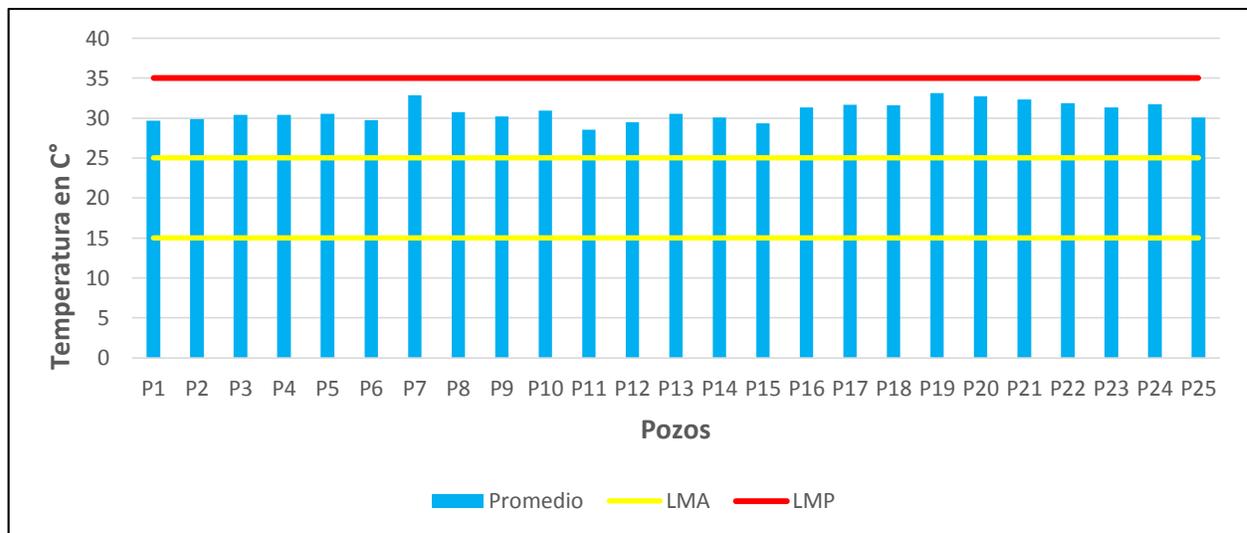
8.2.3 Temperatura

La temperatura del agua influye directamente en otros parámetros, como en el retardo o aceleración de la actividad microbiológica o la absorción de oxígeno. La temperatura puede ser influenciada por diversos factores especialmente ambientales, provocando que esta fluctúe constantemente entre los 25°C y 35°C dependiendo de las condiciones climáticas y geológicas.

En la tabla 7 se observa que el agua tiene valores de temperatura superiores al límite máximo aceptable (15°C - 25°C) principalmente los pozos P7, P19, P20, P21, P22, P23 y P24 ubicados en la zona cerca al río Grande; es importante indicar que los pozos P7 y P19 superaron el límite máximo permisible en el primer y segundo monitoreo (época seca). La temperatura promedio del agua de los pozos es de 30.84°C superior al límite máximo aceptable (15°C - 25°C) pero inferior al límite máximo permisible (34°C).

Los valores promedio de temperatura, según la gráfica 2, muestran que estos se encuentran debajo del límite máximo permisible pero superiores al límite máximo aceptable, y cambia levemente entre cada punto muestreado.

Gráfica 2. Valores promedio de temperatura del agua en los pozos de la ciudad de Zacapa, 2019



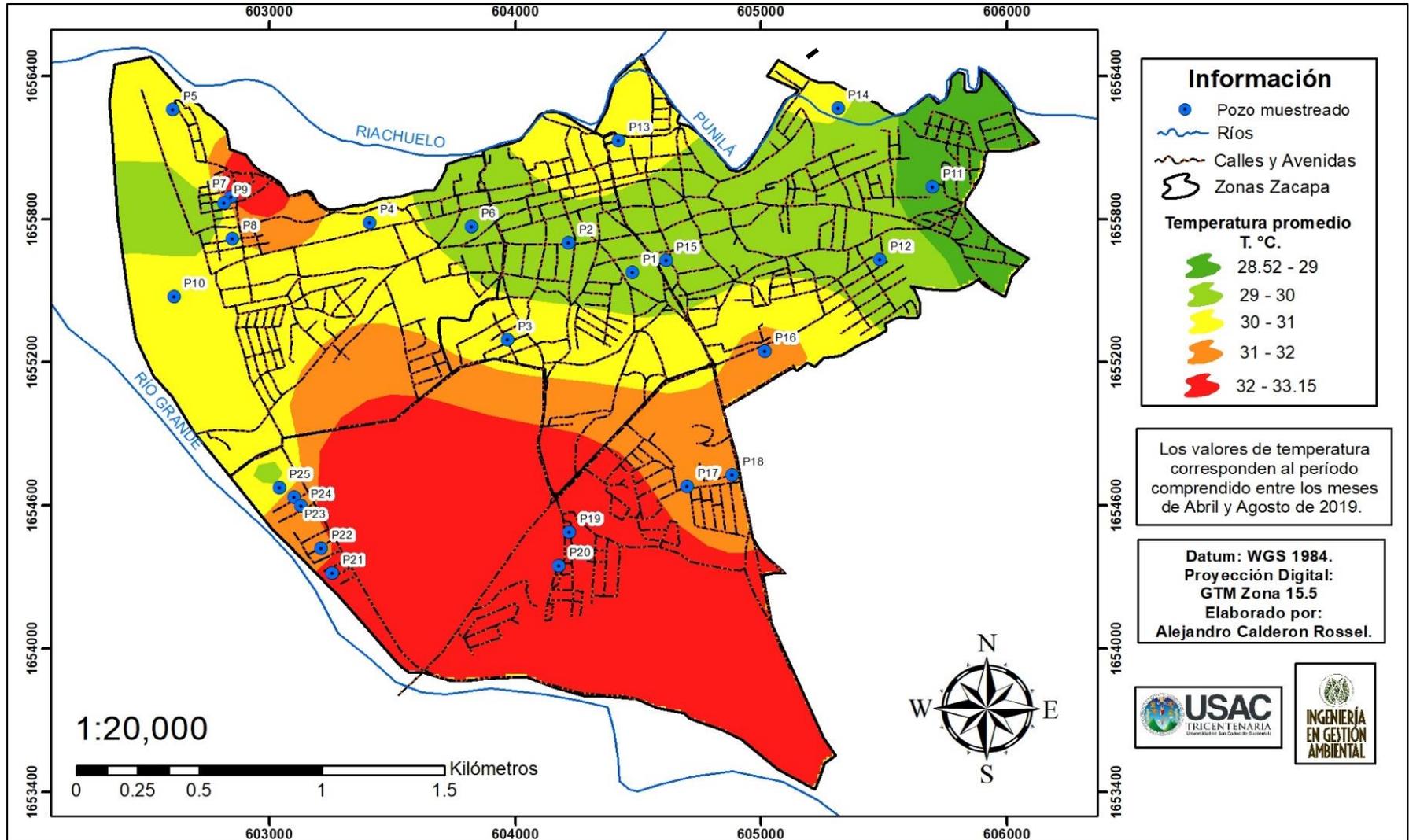
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 7. Resultados de la temperatura del agua subterránea en pozos bajo estudio de la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Temperatura (°C)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	29.2	31.0	28.8	29.7	29.6
P2	Z.1 P.2	32.3	29.3	29.4	28.5	29.8
P3	Z.1 P.3	31.3	29.9	29.9	30.6	30.4
P4	Z.2 P.1	30.8	29.6	30.8	30.4	30.4
P5	Z.2 P.2	30.5	30.9	30.2	30.6	30.5
P6	Z.2 P.3	30.0	29.7	30.0	29.2	29.7
P7	Z.2 P.4	35.0	33.9	30.6	31.8	32.8
P8	Z.2 P.5	31.2	29.6	30.8	31.2	30.7
P9	Z.2 P.6	30.9	30.1	30.2	29.6	30.2
P10	Z.2 P.7	30.9	31.1	30.6	31.0	30.9
P11	Z.3 P.1	28.3	28.7	28.5	28.6	28.5
P12	Z.3 P.2	29.3	29.8	29.4	29.4	29.4
P13	Z.3 P.3	29.8	31.5	30.6	30.3	30.5
P14	Z.3 P.4	30.2	29.6	30.4	30.2	30.1
P15	Z.3 P.5	29.6	29.6	29.0	29.2	29.3
P16	Z.3 P.6	32.0	30.9	30.7	31.8	31.3
P17	Z.4 P.1	32.0	31.9	31.6	31.1	31.6
P18	Z.4 P.2	32.2	31.3	31.2	31.8	31.6
P19	Z.4 P.3	34.0	35.6	31.5	31.5	33.1
P20	Z.4 P.4	33.7	33.0	31.9	32.2	32.7
P21	Z.4 P.5	33.6	32.5	31.6	31.7	32.3
P22	Z.4 P.6	32.7	30.8	31.7	32.2	31.8
P23	Z.4 P.7	32.2	31.6	30.3	31.3	31.3
P24	Z.4 P.8	33.3	31.6	30.8	31.3	31.7
P25	Z.4 P.9	29.9	29.6	30.0	30.8	30.0
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable 15°C - 25°C			Límite máximo permisible 34°C	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 7. Mapa de temperatura del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



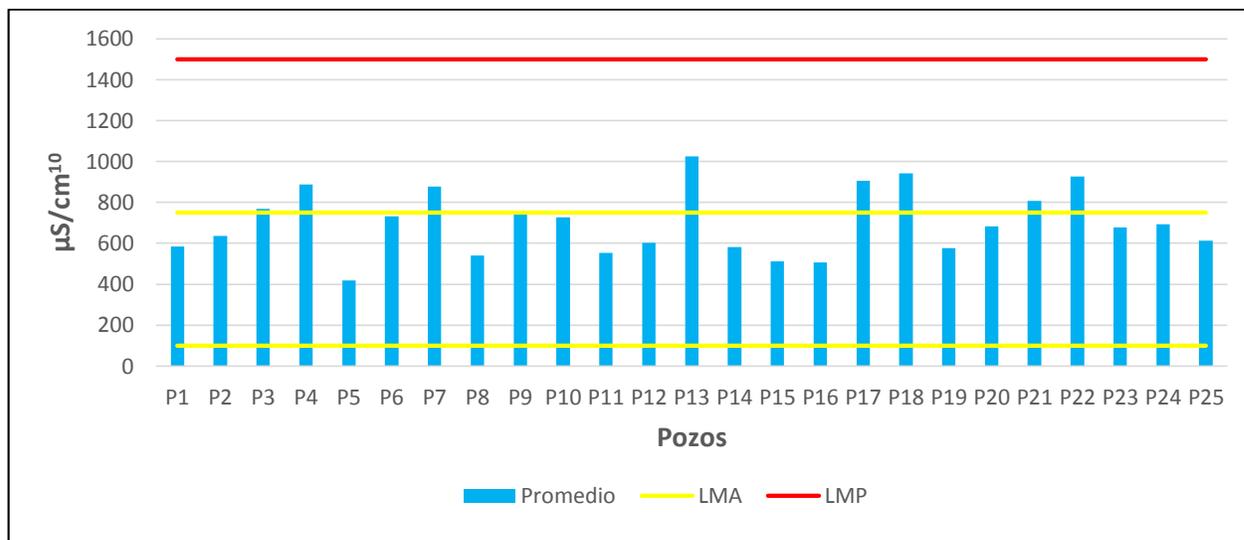
Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.2.4 Conductividad eléctrica

La conductividad de una sustancia es la medida de la capacidad de la solución de conducir o transmitir una corriente eléctrica. Esta capacidad se ve influenciada por varios factores como la concentración, movilidad y la carga de iones, la temperatura, elementos disueltos en el agua, lixiviados, composición geológica, entre otros. Este parámetro permite identificar las concentraciones de sales en el agua.

En la gráfica 3, se observa los pozos que presentan mayor conductividad son: P4, P6, P7 P9, P13, P17, P18, P21 y P22, asociados al resultado de los parámetros de sólidos disueltos totales y dureza, permite inferir, que los niveles de conductividad se deben a la presencia de sales minerales en el agua.

Gráfica 3. Valores promedio de la conductividad eléctrica en los pozos de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 8, los resultados muestran que el valor promedio de conductividad del agua en los pozos es de $701.32 \mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, la variabilidad entre pozos es significativa, donde el valor promedio mínimo es de $419 \mu\text{S}/\text{cm}$ y el valor más alto es de $1026 \mu\text{S}/\text{cm}$, esta variabilidad probablemente está influenciada por las características de cada pozo como: el material del subsuelo, la construcción del pozo (tipo de pozo), el recubrimiento de este, lixiviados que llegan a las aguas subterránea y la temperatura.

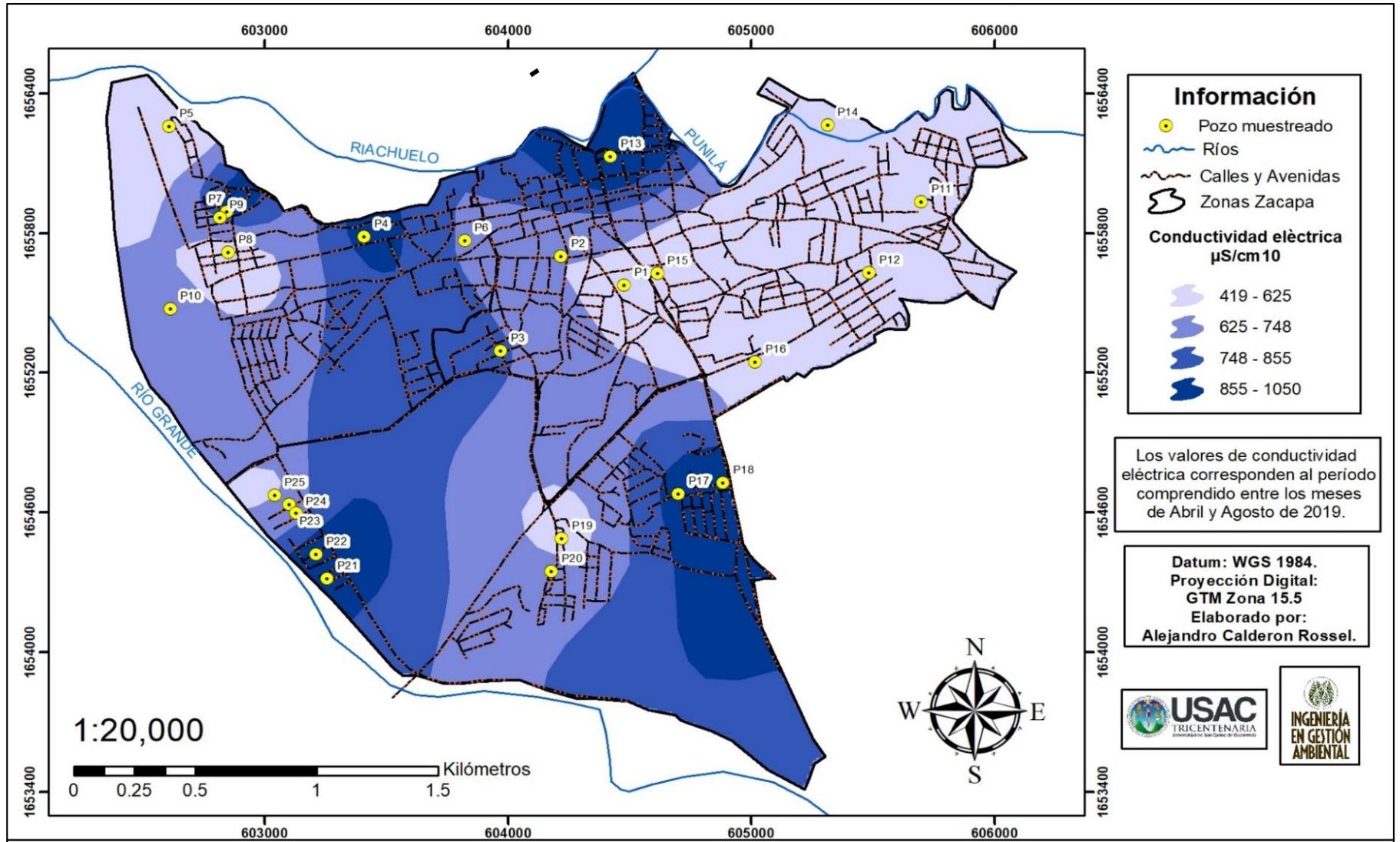
Los pozos con conductividad alta están localizados en el borde de la ciudad; sin embargo, ninguno de los pozos presenta valores que superan el límite máximo permisible (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}^{10}$).

Tabla 8. Resultados de conductividad eléctrica en el agua de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Unidad en siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	609	656	571	499	583
P2	Z.1 P.2	708	746	623	465	635
P3	Z.1 P.3	780	824	833	632	767
P4	Z.2 P.1	886	1250	705	713	888
P5	Z.2 P.2	407	406	472	391	419
P6	Z.2 P.3	885	916	698	431	732
P7	Z.2 P.4	999	989	693	828	877
P8	Z.2 P.5	516	557	453	631	539
P9	Z.2 P.6	874	899	689	553	753
P10	Z.2 P.7	825	803	670	614	728
P11	Z.3 P.1	603	629	490	491	553
P12	Z.3 P.2	648	678	541	543	602
P13	Z.3 P.3	1120	1186	946	852	1026
P14	Z.3 P.4	616	634	530	545	581
P15	Z.3 P.5	561	573	455	455	511
P16	Z.3 P.6	541	564	456	466	506
P17	Z.4 P.1	1015	982	791	837	906
P18	Z.4 P.2	958	986	876	954	943
P19	Z.4 P.3	658	641	469	534	575
P20	Z.4 P.4	721	782	653	574	682
P21	Z.4 P.5	640	987	801	803	807
P22	Z.4 P.6	939	985	857	928	927
P23	Z.4 P.7	700	738	649	627	678
P24	Z.4 P.8	726	748	659	639	693
P25	Z.4 P.9	596	660	662	535	613
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable 100 – 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$			Límite máximo permisible 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 8. Mapa de conductividad eléctrica del agua subterránea, en la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

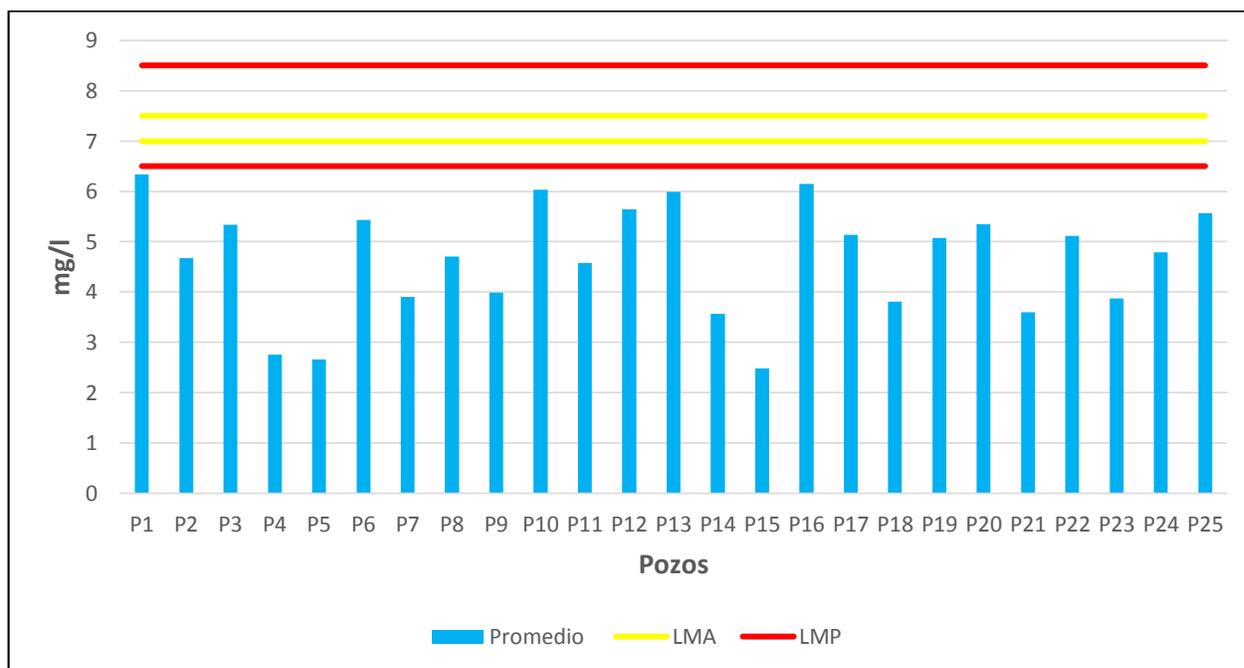
8.2.5 Oxígeno disuelto

Es el oxígeno que se encuentra presente en el agua; sin embargo, existen factores que determinan el nivel de oxígeno presente en el agua, entre ellos la temperatura del medio acuático (a mayor temperatura el agua menor contenido de oxígeno tendrá esta), el nivel de movimiento o características del cauce (flujos turbulentos favorecen la incorporación de oxígeno), la cantidad de sales disueltas (mayor cantidad de sales menor la capacidad de incorporar oxígeno).

Es importante indicar que el agua subterránea carece de oxígeno disuelto por no contar con flujos turbulentos que permitan la incorporación de oxígeno, es de esperar que los niveles de oxígeno de los pozos con a mayor profundidad sea bajo.

Según la gráfica 4 la tabla 9 y figura 9, los valores de oxígeno disuelto son uniformes; en la mayoría de los pozos los valores promedio son bajos principalmente en los pozos: P4, P5, y P15 que son los de mayor profundidad.

Gráfica 4. Valores promedio de oxígeno disuelto en los pozos de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

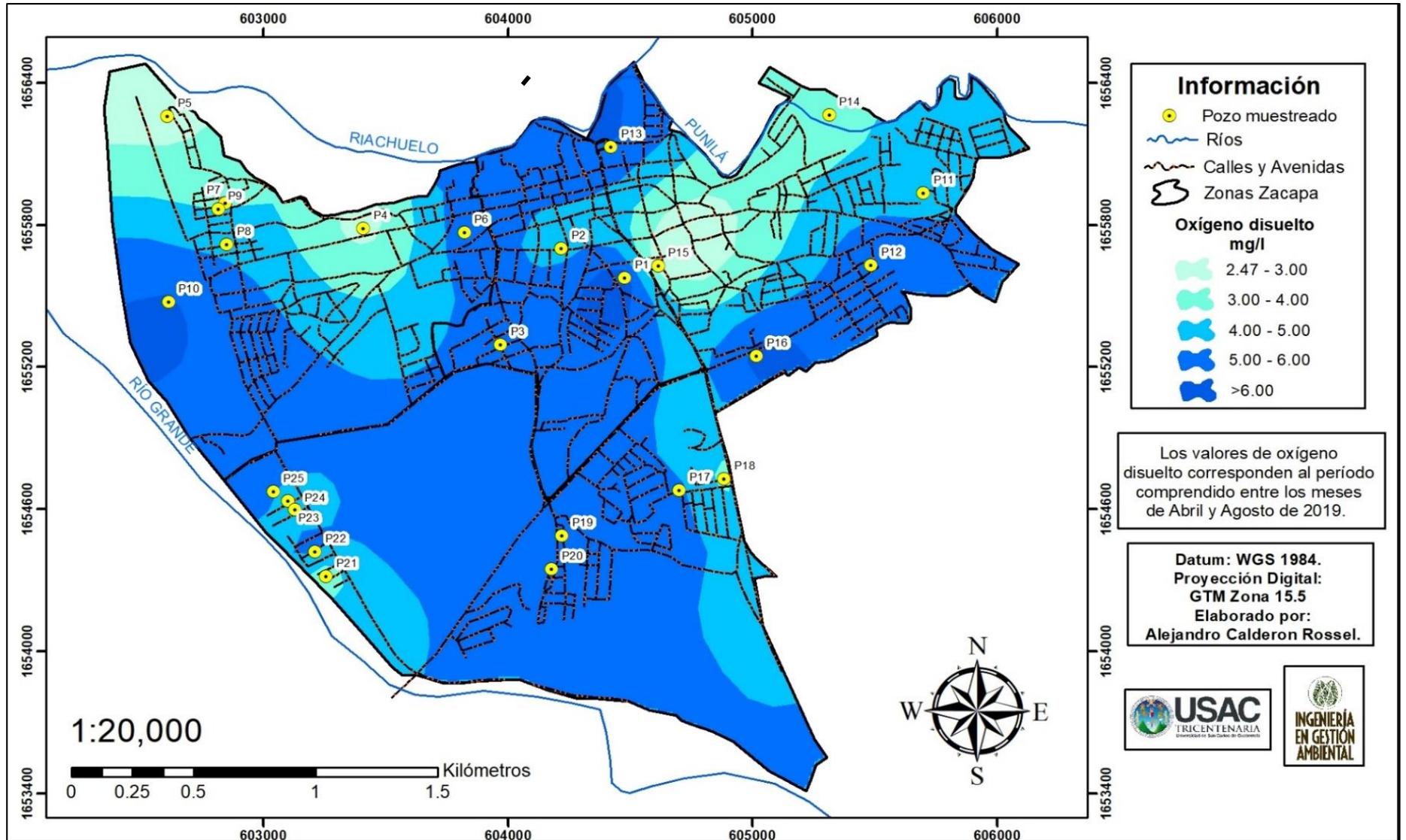
El valor promedio general del oxígeno disuelto es de 4.56 debajo del límite máximo aceptable (7.0 – 7.5 mg/L); en la tabla 9, se muestra el valor promedio más bajo de 2.47mg/L, y el valor más alto de 6.34mg/L. Uno de los factores que influye en la escasa concentración de oxígeno disuelto del agua subterránea de la ciudad de Zacapa es la temperatura y otro es la presencia de sales que se ve reflejada en la dureza.

Tabla 9. Oxígeno disuelto del agua de los pozos bajo estudio de la ciudad de Zacapa, 2018

Punto	Pozo	Oxígeno disuelto (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	5.24	6.50	6.83	6.80	6.34
P2	Z.1 P.2	5.68	3.77	4.52	4.73	4.67
P3	Z.1 P.3	4.79	5.69	5.18	5.69	5.33
P4	Z.2 P.1	2.18	3.73	2.58	2.51	2.75
P5	Z.2 P.2	2.05	4.68	2.24	1.65	2.65
P6	Z.2 P.3	5.62	5.32	5.28	5.52	5.43
P7	Z.2 P.4	4.25	3.81	3.76	3.79	3.90
P8	Z.2 P.5	4.59	5.67	4.34	4.22	4.70
P9	Z.2 P.6	4.03	4.06	3.96	3.88	3.98
P10	Z.2 P.7	6.33	6.62	6.03	5.15	6.03
P11	Z.3 P.1	4.55	4.11	5.81	3.85	4.58
P12	Z.3 P.2	5.95	5.54	5.29	5.79	5.64
P13	Z.3 P.3	6.35	5.05	5.81	6.74	5.98
P14	Z.3 P.4	2.95	3.24	3.55	4.51	3.56
P15	Z.3 P.5	1.94	2.22	2.55	3.19	2.47
P16	Z.3 P.6	6.14	6.14	6.22	6.11	6.15
P17	Z.4 P.1	5.14	5.50	4.60	5.30	5.13
P18	Z.4 P.2	3.6	3.66	4.02	3.95	3.80
P19	Z.4 P.3	5.36	5.22	4.21	5.52	5.07
P20	Z.4 P.4	4.94	5.16	5.90	5.37	5.34
P21	Z.4 P.5	3.11	3.28	4.03	3.95	3.59
P22	Z.4 P.6	4.00	5.87	5.48	5.10	5.11
P23	Z.4 P.7	3.49	3.49	4.05	4.44	3.86
P24	Z.4 P.8	5.04	5.52	4.66	3.95	4.79
P25	Z.4 P.9	4.66	4.38	5.64	7.60	5.57
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable: 7.00 – 7.5 mg/L			Límite máximo permisible: 6..5 – 8.5 mg/L	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 9. Mapa de oxígeno disuelto del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



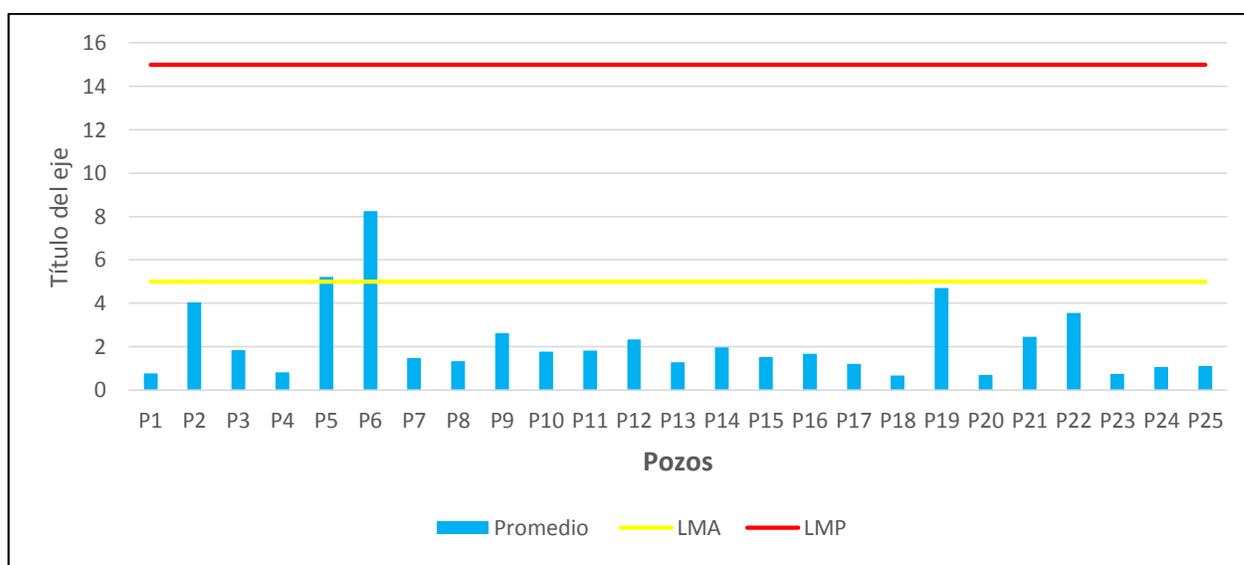
Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.2.6 Turbidez

La turbidez es el grado de transparencia que pierde alguna solución por la presencia de partículas en suspensión; cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez, está íntimamente relacionado con los sentidos organolépticos.

Según la gráfica 5, los pozos con valores altos de turbidez son: P2, P5, P6 y P19, durante el tercer muestreo el 42% de los pozos presentaron un aumento en la presencia de partículas en suspensión, debido al arrastre y lixiviación de material causado por las lluvias.

Gráfica 5. Valores promedio de turbidez en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

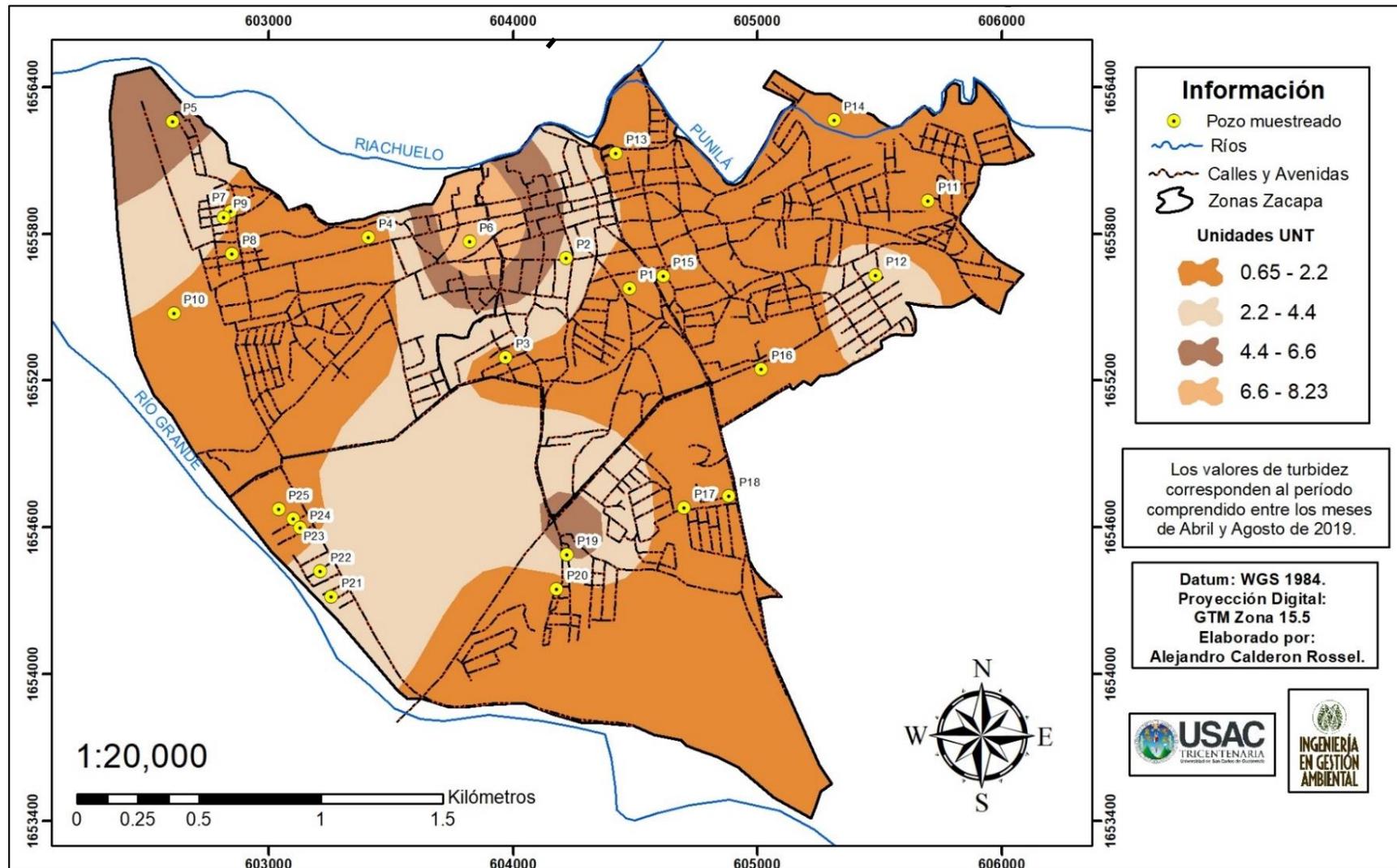
La tabla 10 muestra que, el 93% de los resultados cumplen con el límite máximo aceptable (5 UNT) para turbidez, los pozos P2, P5, P6, P19 y P22 presentaron en uno o en dos de los monitoreos valores superiores al límite máximo aceptable. El valor promedio general de turbiedad es de 2.19 UNT el cual se encuentra dentro del límite máximo aceptable, siendo el valor más bajo de 0.65 UNT, mientras el valor más alto 8.23 UNT.

Tabla 10. Resultados de turbidez de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Unidades nefelométrías de tramitancia (UNT)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	0.38	1.10	0.48	1.13	0.77
P2	Z.1 P.2	13.00	1.60	0.26	1.26	4.03
P3	Z.1 P.3	0.60	1.30	1.92	3.53	1.83
P4	Z.2 P.1	0.40	0.41	0.70	1.69	0.80
P5	Z.2 P.2	15.30	3.96	0.50	1.04	5.20
P6	Z.2 P.3	3.30	9.65	15.60	4.38	8.23
P7	Z.2 P.4	0.40	1.30	3.90	0.31	1.47
P8	Z.2 P.5	0.40	3.70	0.80	0.42	1.33
P9	Z.2 P.6	3.30	1.40	3.30	2.44	2.61
P10	Z.2 P.7	0.60	1.10	4.50	0.88	1.77
P11	Z.3 P.1	0.34	1.50	4.20	1.18	1.80
P12	Z.3 P.2	0.58	2.00	4.50	2.27	2.33
P13	Z.3 P.3	1.44	1.99	0.40	1.24	1.26
P14	Z.3 P.4	0.40	0.75	5.90	0.74	1.94
P15	Z.3 P.5	0.57	1.25	2.70	1.56	1.52
P16	Z.3 P.6	2.00	1.74	2.40	0.54	1.67
P17	Z.4 P.1	0.32	1.33	0.60	2.53	1.19
P18	Z.4 P.2	0.45	1.45	0.40	0.33	0.65
P19	Z.4 P.3	0.50	1.42	16.40	0.46	4.69
P20	Z.4 P.4	0.31	1.44	0.70	0.31	0.69
P21	Z.4 P.5	0.55	4.26	0.90	4.10	2.45
P22	Z.4 P.6	0.58	12.50	0.60	0.55	3.55
P23	Z.4 P.7	0.38	1.40	0.70	0.44	0.73
P24	Z.4 P.8	0.44	2.60	0.90	0.32	1.06
P25	Z.4 P.9	1.20	2.00	0.50	0.74	1.11
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable: 5 UNT			Límite máximo permisible: 15 UNT	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 10. Mapa de turbidez en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

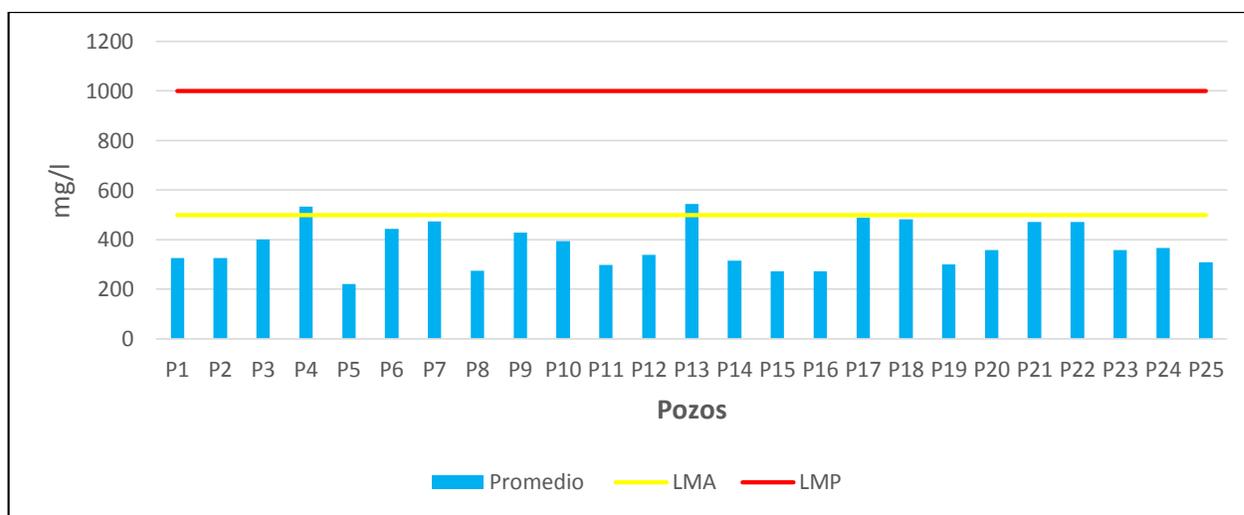
8.2.7 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales son compuestos inorgánicos que se encuentran en el agua, como las sales, metales pesados y algunos rastros de compuestos orgánicos que se disuelven en el agua. Algunos de estos compuestos son esenciales para la vida, sin embargo, pueden ser perjudiciales en altas concentraciones para la salud, los sólidos disueltos totales están relacionados con turbidez y los sedimentos en el agua.

La concentración promedio general de sólidos disueltos totales es de 378.89mg/L, el valor promedio más alto 543.5 mg/L, el más bajo es de 221.65mg/l. Similar a los resultados de la conductividad, los pozos con altos niveles de sólidos disueltos totales se localizan en la periferia de la ciudad de Zacapa.

La gráfica 6, muestra que los pozos P4 y P13 presentaron valores superiores al límite máximo aceptable (<500mg/l).

Gráfica 6. Valores promedio de los sólidos disueltos totales en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los valores de sólidos disueltos totales de la tabla 11, indican que el 97% cumplen con el límite máximo aceptable (<500mg/L); sin embargo, los pozos P4, P7, P13, P17, P18, P21 y 22 presentaron niveles importantes de sólidos disueltos totales en los monitoreos;

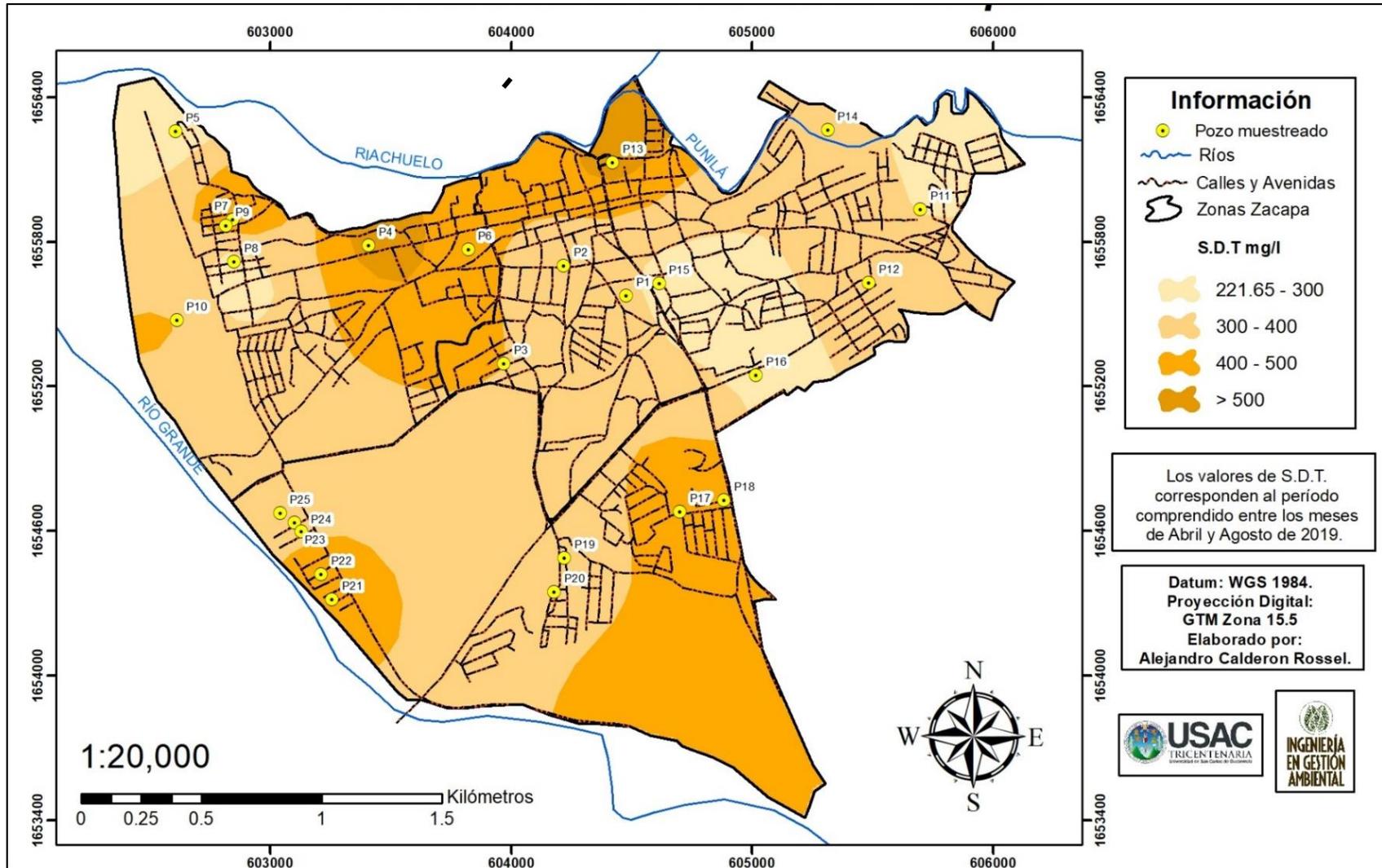
la relación entre sólidos disueltos totales y conductividad es consistente y semejante porque ambos parámetros presentan niveles superiores al límite máximo aceptable.

Tabla 11. Resultados de sólidos disueltos totales en los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Sólidos disueltos totales (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	312.0	320.0	363.0	309.0	326.0
P2	Z.1 P.2	364.0	357.0	297.0	286.0	326.0
P3	Z.1 P.3	410.0	403.0	403.0	390.0	401.5
P4	Z.2 P.1	460.0	791.0	440.0	440.0	532.7
P5	Z.2 P.2	208.4	197.2	241.0	240.0	221.6
P6	Z.2 P.3	463.0	452.0	432.0	431.0	444.5
P7	Z.2 P.4	525.0	489.0	427.0	455.0	474.0
P8	Z.2 P.5	266.0	268.0	269.0	298.0	275.2
P9	Z.2 P.6	456.0	444.0	407.0	410.0	429.2
P10	Z.2 P.7	430.0	395.0	388.0	368.0	395.2
P11	Z.3 P.1	306.0	301.0	290.0	296.0	298.2
P12	Z.3 P.2	330.0	329.0	321.0	375.0	338.7
P13	Z.3 P.3	579.0	585.0	501.0	509.0	543.5
P14	Z.3 P.4	316.0	309.0	311.0	322.0	314.5
P15	Z.3 P.5	286.0	279.0	261.0	267.0	273.2
P16	Z.3 P.6	279.0	274.0	262.0	272.0	271.7
P17	Z.4 P.1	513.0	485.0	459.0	497.0	488.5
P18	Z.4 P.2	484.0	487.0	478.0	480.0	482.2
P19	Z.4 P.3	330.0	314.0	258.0	303.0	301.2
P20	Z.4 P.4	364.0	385.0	358.0	328.0	358.7
P21	Z.4 P.5	493.0	489.0	445.0	462.0	472.2
P22	Z.4 P.6	478.0	477.0	463.0	465.0	470.7
P23	Z.4 P.7	354.0	361.0	351.0	364.0	357.5
P24	Z.4 P.8	369.0	371.0	360.0	364.0	366.0
P25	Z.4 P.9	309.0	313.0	313.0	301.0	309.0
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable 500 mg/L			Límite máximo permisible: 1000 mg/L	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 11. Mapa de sólidos disueltos totales en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



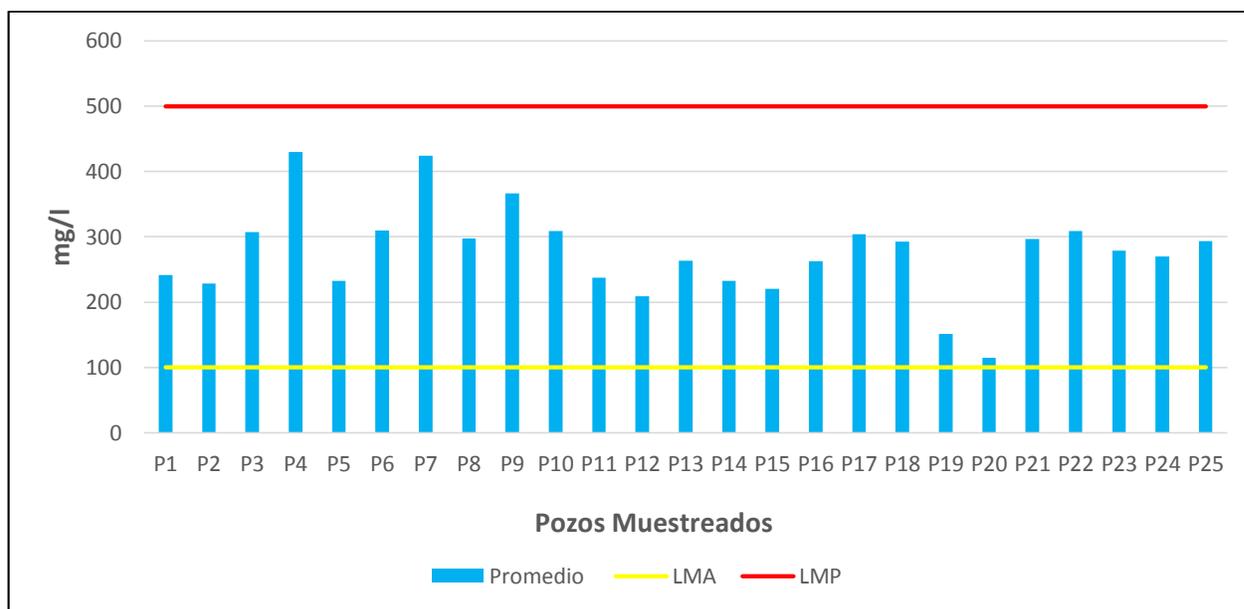
Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.2.8 Dureza

Es la concentración de compuestos minerales que están presentes en el agua, especialmente sales de magnesio y calcio; cuando el agua tiene alta concentración de dichas sales se le denomina agua “dura”, mientras que cuando contiene poca se le denomina agua “blanda”; la presencia de sales de magnesio y calcio en el agua depende en gran parte de las formaciones geológicas por las cuales atraviesa.

El comportamiento de la dureza del agua subterránea analizada es semejante al comportamiento de los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica que confirman que la presencia de minerales disueltos. La gráfica 7 presenta los valores correspondientes a la concentración promedio de dureza de cada pozo.

Gráfica 7. Valores promedio de dureza en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

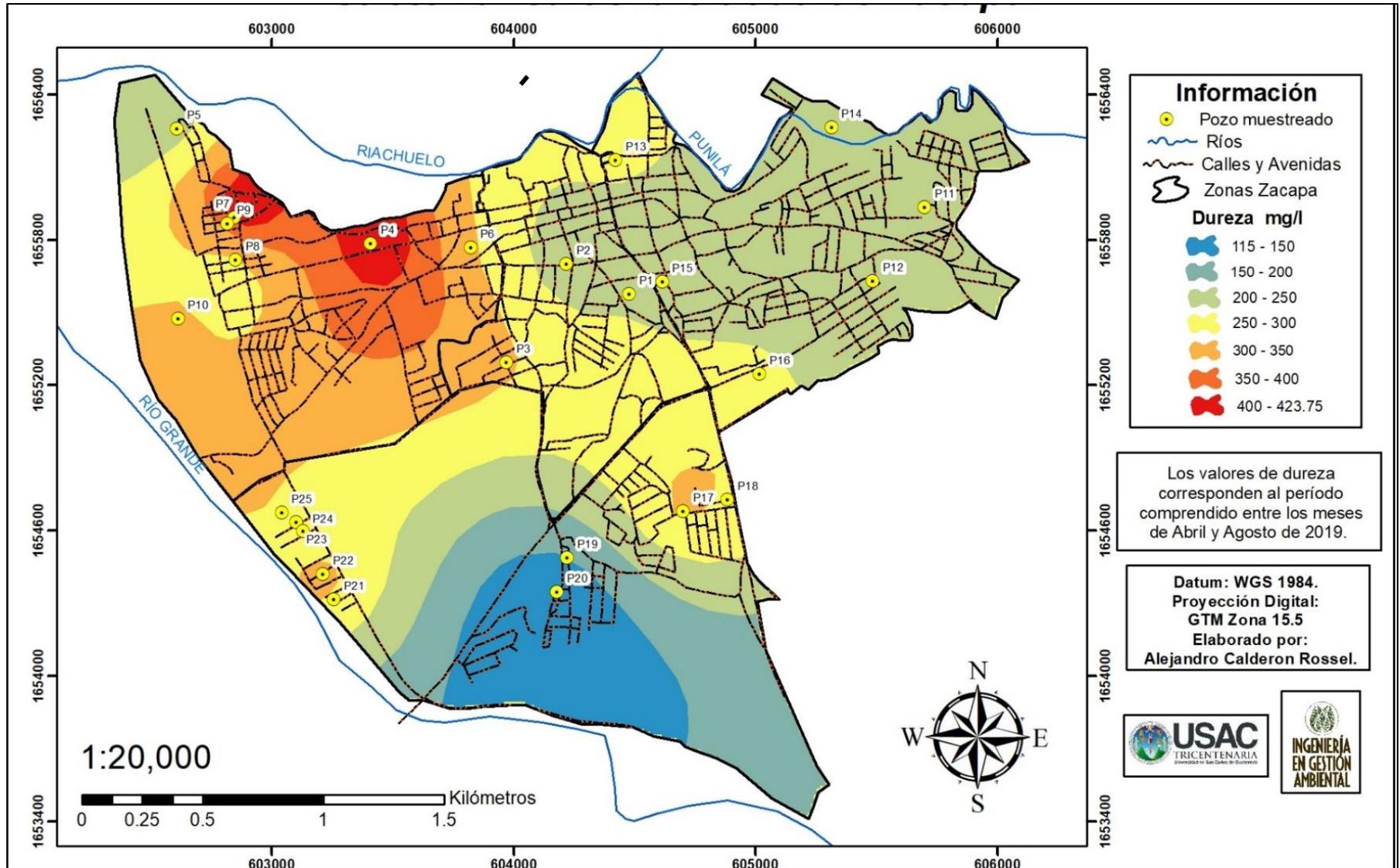
La tabla 12, muestra que la totalidad de los pozos analizados presentan valores superiores al límite máximo aceptable (100 mg/L CaCO_3), la concentración promedio general es de 275.25 mg/L CaCO_3 . Entre los pozos con mayor de dureza se encuentran P4, P7, P9, P18, P21, P22 y P23; sin embargo, la dureza se encuentra por debajo del límite máximo permisible (gráfica 7).

Tabla 12. Resultados de dureza promedio de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Dureza (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	150	220	335	260	241
P2	Z.1 P.2	270	165	225	255	228
P3	Z.1 P.3	405	265	170	390	307
P4	Z.2 P.1	330	545	435	410	430
P5	Z.2 P.2	205	225	265	235	232
P6	Z.2 P.3	285	270	260	425	310
P7	Z.2 P.4	470	410	415	400	423
P8	Z.2 P.5	265	230	295	400	297
P9	Z.2 P.6	360	365	490	250	366
P10	Z.2 P.7	285	255	365	330	308
P11	Z.3 P.1	160	255	290	245	237
P12	Z.3 P.2	160	205	240	230	208
P13	Z.3 P.3	205	270	245	335	263
P14	Z.3 P.4	155	220	280	275	232
P15	Z.3 P.5	150	220	280	230	220
P16	Z.3 P.6	260	245	300	245	262
P17	Z.4 P.1	325	230	305	355	303
P18	Z.4 P.2	275	230	310	355	292
P19	Z.4 P.3	195	155	95	160	151
P20	Z.4 P.4	120	110	140	90	115
P21	Z.4 P.5	250	215	355	365	296
P22	Z.4 P.6	230	245	310	450	308
P23	Z.4 P.7	205	205	370	335	278
P24	Z.4 P.8	195	290	275	320	270
P25	Z.4 P.9	255	305	285	330	293
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable: 100 mg/L		Límite máximo permisible: 500 mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 12. Mapa de dureza en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.2.9 Sulfatos

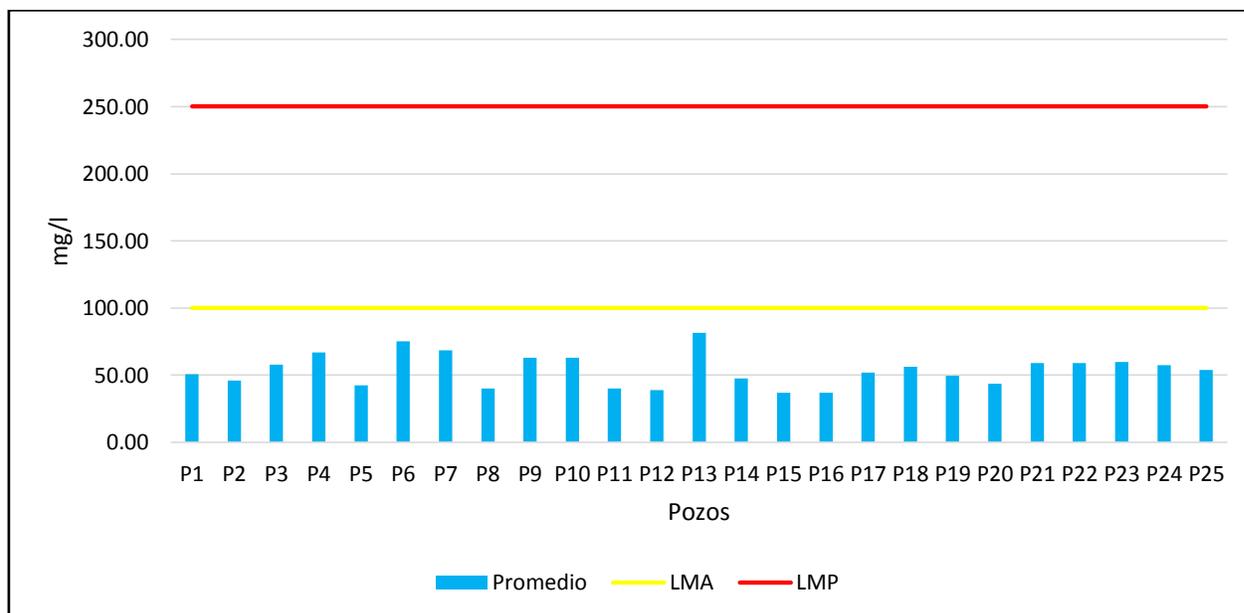
Los sulfatos son la presencia de sales de ácido sulfúrico (azufre) presentes en el agua.

Los valores promedio de sulfatos en los pozos se encuentran por debajo del límite máximo aceptable (100mg/L) y del límite máximo permisible (250mg/L), sin embargo, los pozos P4, P6, P7 y P13 mostraron resultados altos en comparación con el resto (gráfica 8), posiblemente se debe a que el río Punila es utilizado para la disposición final de aguas residuales domesticas provenientes del casco urbano de la ciudad de Zacapa.

La concentración promedio general de sulfatos es de 53.86 mg/L, esto indica que no representa mayor amenaza a la potabilidad del agua subterránea.

Los pozos ubicados en el área de colindancia con el río Punila presentan valores superiores al resto.

Gráfica 8. Valores promedio de sulfatos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



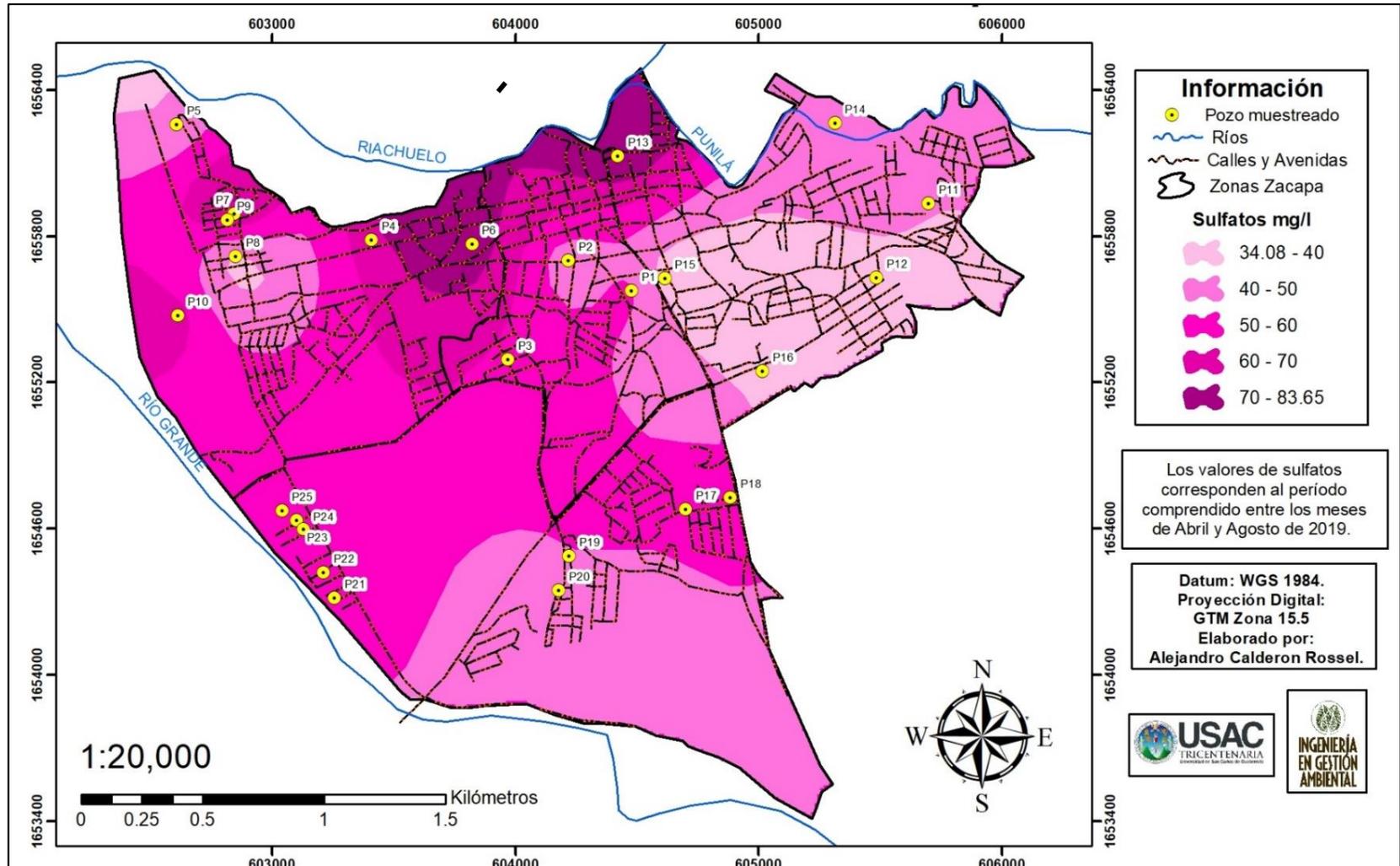
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 13. Resultados de sulfatos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Sulfatos (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	51.70	53.53	43.95	54.03	50.81
P2	Z.1 P.2	54.03	44.33	45.76	39.73	45.96
P3	Z.1 P.3	54.80	57.43	64.03	55.73	58.00
P4	Z.2 P.1	62.47	84.33	48.70	71.93	66.86
P5	Z.2 P.2	38.20	37.20	29.23	65.56	42.55
P6	Z.2 P.3	88.57	90.43	47.90	74.43	75.33
P7	Z.2 P.4	59.13	94.76	44.90	75.06	68.47
P8	Z.2 P.5	40.87	41.66	32.06	46.30	40.23
P9	Z.2 P.6	67.57	69.03	36.63	78.30	62.88
P10	Z.2 P.7	64.40	78.36	41.56	67.26	62.90
P11	Z.3 P.1	41.33	43.93	33.10	42.60	40.24
P12	Z.3 P.2	42.60	42.46	32.06	38.90	39.01
P13	Z.3 P.3	91.73	119.17	32.40	82.76	81.52
P14	Z.3 P.4	47.17	46.16	36.83	60.83	47.75
P15	Z.3 P.5	40.97	42.66	28.56	34.83	36.76
P16	Z.3 P.6	39.27	39.50	28.20	40.23	36.80
P17	Z.4 P.1	57.80	54.56	38.30	57.70	52.09
P18	Z.4 P.2	64.07	64.13	32.33	64.26	56.20
P19	Z.4 P.3	50.53	53.06	39.10	54.76	49.37
P20	Z.4 P.4	48.80	45.76	32.83	47.30	43.68
P21	Z.4 P.5	64.33	64.33	37.86	70.13	59.17
P22	Z.4 P.6	57.30	59.46	40.20	78.36	58.83
P23	Z.4 P.7	67.93	67.03	36.73	67.33	59.76
P24	Z.4 P.8	65.00	63.86	35.76	65.73	57.59
P25	Z.4 P.9	57.70	50.10	34.53	72.86	53.80
Valores de referencia COGUANOR 29001		Límite máximo aceptable: 100 mg/L		Límite máximo permisible: 250 mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 13. Mapa de sulfatos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

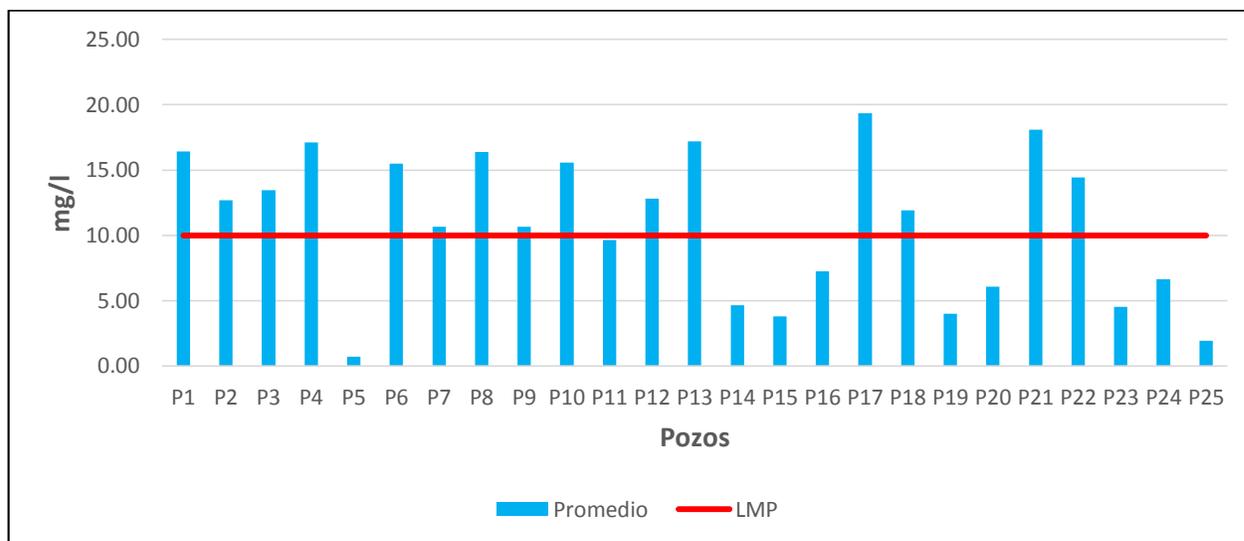
8.2.10 Nitratos

Constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en todos los cuerpos de agua naturales. Los nitratos son nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos, su presencia en el agua puede ocasionar la eutrofización de los ríos y lagos.

En la tabla 14, se muestran los resultados de los 4 monitoreos y la concentración para cada uno de los pozos, el promedio general de nitratos es de 10.86mg/L, superior al límite máximo permisible (10mg/l), el valor promedio más alto es de 19.33mg/L, y el valor más bajo es de 0.70mg/L; los pozos cercanos al río Punila y en las zonas del centro de la ciudad de Zacapa (Zona 1, 2 y 3) presentan mayores concentraciones de nitratos.

En la gráfica 9, se puede observar que en 15 pozos los nitratos superan el límite máximo permisible (10mg/L), lo que limita el uso del agua para consumo humano.

Gráfica 9. Valores promedio de nitratos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



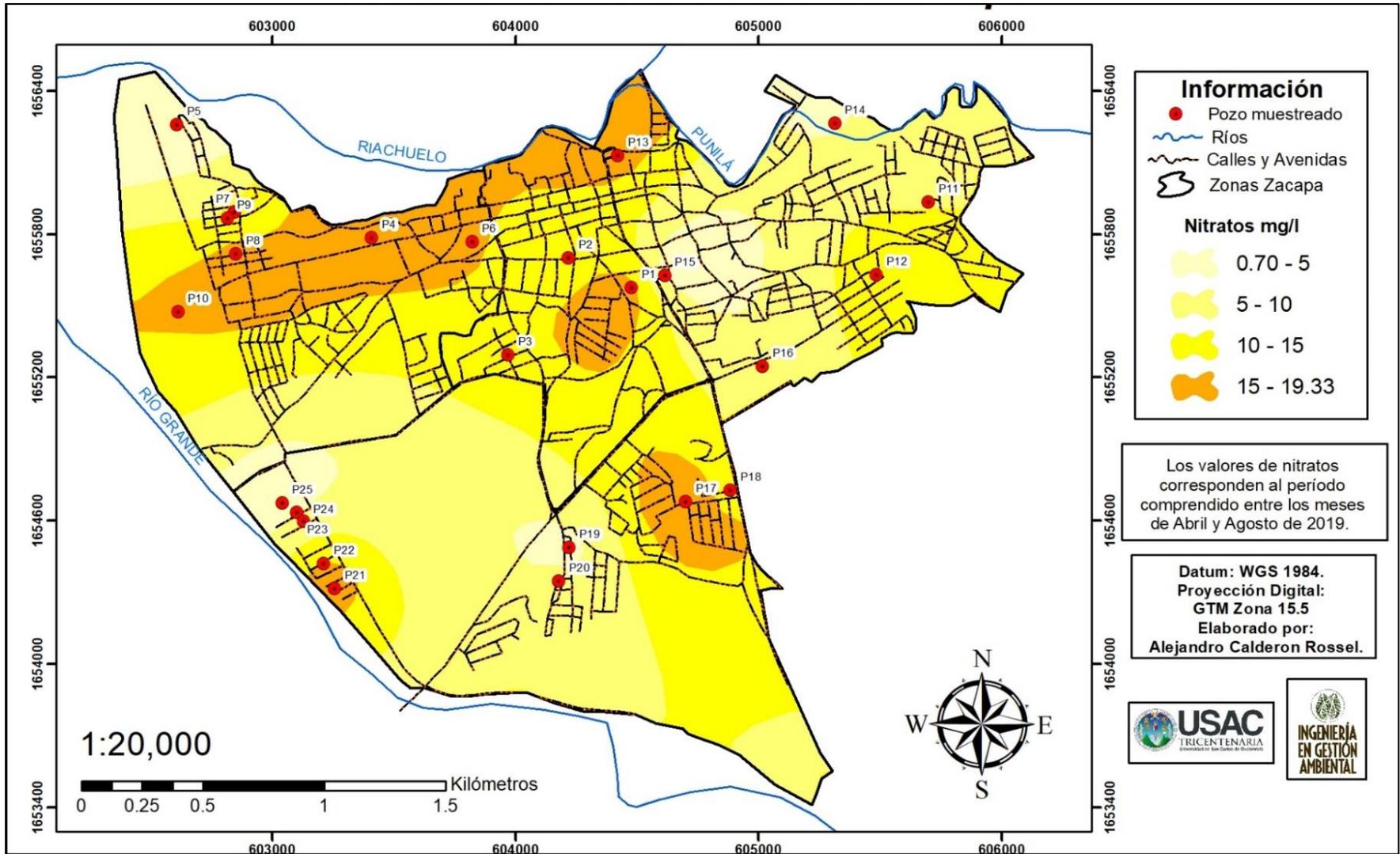
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 14. Resultados de nitratos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Nitratos (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	16.37	15.43	16.25	17.62	16.42
P2	Z.1 P.2	17.41	13.68	9.86	9.82	12.70
P3	Z.1 P.3	16.20	12.39	8.34	16.88	13.46
P4	Z.2 P.1	15.88	16.76	16.85	18.87	17.10
P5	Z.2 P.2	0.64	1.168	0.38	0.61	0.70
P6	Z.2 P.3	15.29	11.67	16.31	18.76	15.51
P7	Z.2 P.4	7.82	13.35	11.63	9.85	10.67
P8	Z.2 P.5	15.13	16.50	15.37	18.59	16.40
P9	Z.2 P.6	10.62	9.80	9.92	12.20	10.64
P10	Z.2 P.7	16.67	15.32	15.49	14.77	15.57
P11	Z.3 P.1	5.76	8.95	12.00	11.87	9.65
P12	Z.3 P.2	11.92	14.58	16.08	8.67	12.81
P13	Z.3 P.3	16.12	17.13	16.52	18.94	17.18
P14	Z.3 P.4	4.96	3.66	2.33	7.63	4.65
P15	Z.3 P.5	3.76	3.80	3.23	4.36	3.79
P16	Z.3 P.6	7.03	6.88	7.09	7.95	7.24
P17	Z.4 P.1	18.60	17.67	20.08	20.97	19.33
P18	Z.4 P.2	12.02	12.00	12.02	11.61	11.92
P19	Z.4 P.3	4.16	2.05	3.65	6.09	3.99
P20	Z.4 P.4	6.15	4.08	7.86	6.20	6.07
P21	Z.4 P.5	17.37	18.29	18.63	18.12	18.10
P22	Z.4 P.6	18.04	18.20	16.19	5.30	14.44
P23	Z.4 P.7	4.14	4.13	3.97	5.80	4.51
P24	Z.4 P.8	7.27	6.58	6.68	5.91	6.62
P25	Z.4 P.9	1.82	1.84	1.66	2.41	1.94
Valores de referencia COGUANOR 29001				Límite máximo permisible: 10 mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 14. Mapa de nitratos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

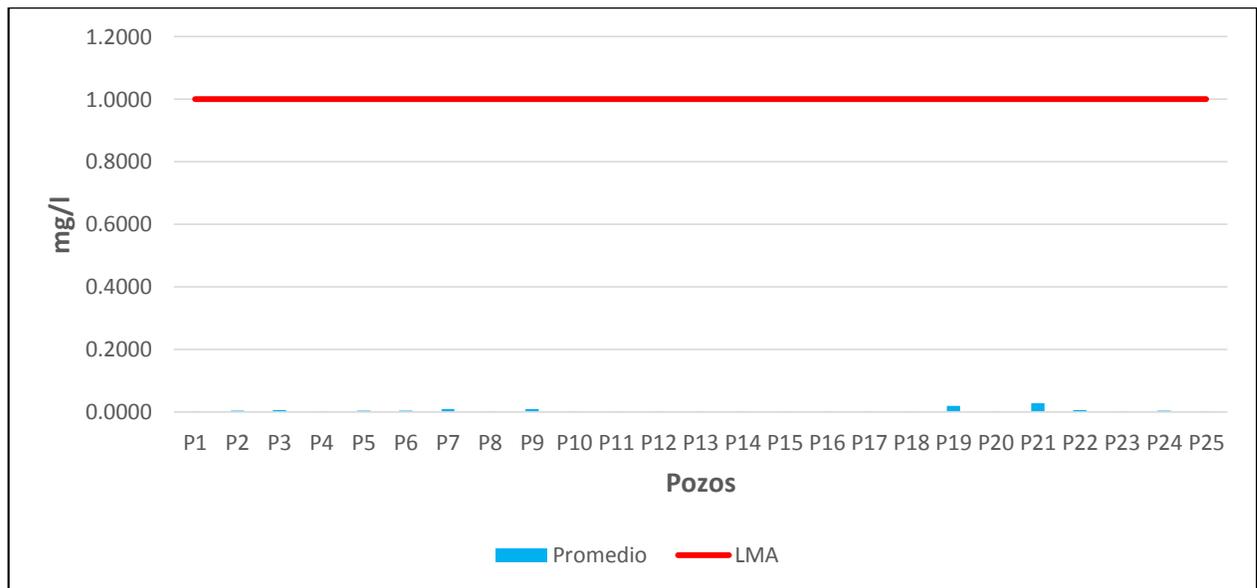
8.2.11 Nitritos

Son componentes no deseados en el agua potables, su presencia se debe a la oxidación incompleta del amoniacó (NH_3) o la reducción del nitrato (NO_3^-) existente en el agua.

De acuerdo a los resultados, los nitritos presentan concentraciones promedio de 0.0045 mg/L, inferior al límite máximo permisible (1mg/L), el valor promedio más alto es de 0.0273 (P21) y el valor promedio más bajo es de 0.006 mg/L (tabla 15).

Los pozos muestreados presentaron valores inferiores al límite máximo permisible, sin embargo, esto no significa que el agua se encuentre libre de este compuesto; la gráfica 10, muestra la baja concentración de nitritos en el agua de los pozos siendo casi imperceptible a través de la gráfica la mayor parte de los resultados.

Gráfica 10. Valores promedio de nitritos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



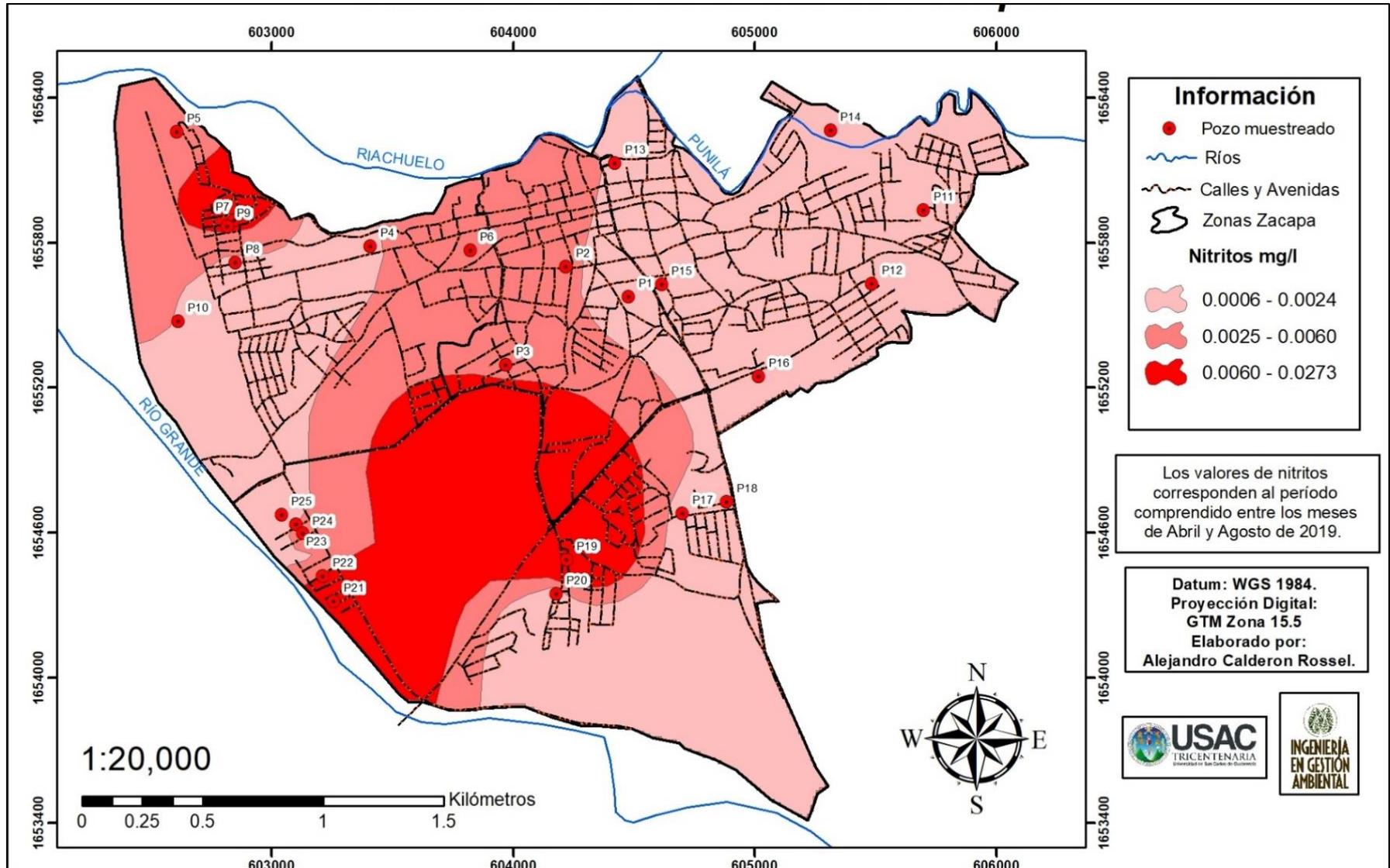
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 15. Resultados de nitritos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Nitritos (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	0.0006	0.0017	0.0010	0.0006	0.0010
P2	Z.1 P.2	0.0071	0.0031	0.0012	0.0012	0.0032
P3	Z.1 P.3	0.0083	0.0132	0.0019	0.0017	0.0063
P4	Z.2 P.1	0.0022	0.0011	0.0022	0.003	0.0021
P5	Z.2 P.2	0.0109	0.0029	0.0017	0.0018	0.0043
P6	Z.2 P.3	0.0020	0.0075	0.0060	0.0036	0.0048
P7	Z.2 P.4	0.0007	0.0005	0.0003	0.0371	0.0097
P8	Z.2 P.5	0.0019	0.0009	0.0019	0.0014	0.0015
P9	Z.2 P.6	0.0105	0.0017	0.0017	0.0197	0.0084
P10	Z.2 P.7	0.0008	0.0003	0.0001	0.0082	0.0024
P11	Z.3 P.1	0.0007	0.0017	0.001	0.0017	0.0013
P12	Z.3 P.2	0.0065	0.0014	0.0004	0.0013	0.0024
P13	Z.3 P.3	0.0035	0.0037	0.0010	0.0013	0.0024
P14	Z.3 P.4	0.0013	0.0009	0.0003	0.0016	0.0010
P15	Z.3 P.5	0.0007	0.0017	0.0009	0.001	0.0011
P16	Z.3 P.6	0.0021	0.0003	0.0001	0.0008	0.0008
P17	Z.4 P.1	0.0004	0.0005	0.0009	0.0004	0.0006
P18	Z.4 P.2	0.0009	0.0013	0.0010	0.0002	0.0009
P19	Z.4 P.3	0.0006	0.0009	0.0715	0.0007	0.0185
P20	Z.4 P.4	0.0007	0.0013	0.0015	0.0005	0.0010
P21	Z.4 P.5	0.0104	0.0215	0.0287	0.0486	0.0273
P22	Z.4 P.6	0.0059	0.0091	0.0043	0.0057	0.0063
P23	Z.4 P.7	0.0023	0.0026	0.0032	0.0016	0.0025
P24	Z.4 P.8	0.0069	0.0034	0.0019	0.0012	0.0033
P25	Z.4 P.9	0.0012	0.0002	0.0002	0.0007	0.0006
Valores de referencia COGUANOR 29001				Límite máximo permisible: 1 mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 15. Mapa de nitritos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

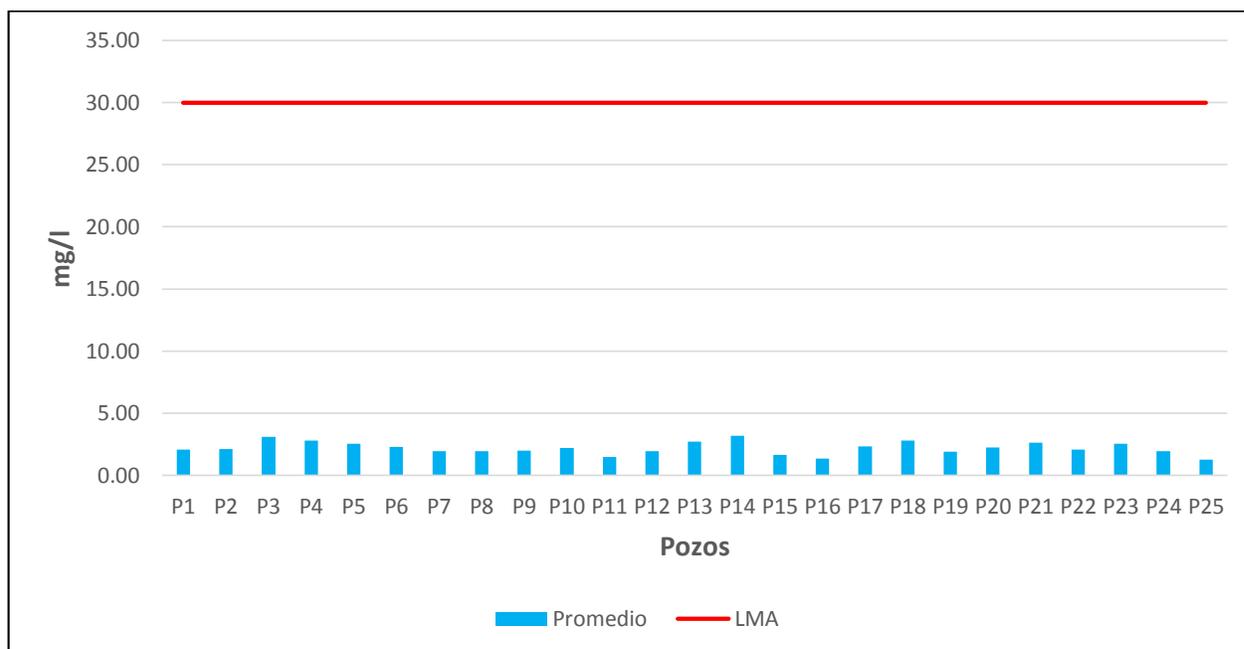
8.2.12 Demanda biológica de oxígeno

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Esta materia es susceptible a ser consumida por medios biológicos, se utiliza para medir propiamente el grado de contaminación transcurridos cinco días de reacción (DBO_5).

En la tabla 16, se presentan los resultados de la DBO_5 , para cada uno de los monitoreos, el valor promedio más bajo es de 1.28mg/L y el más alto es de 3.18mg/L, el promedio general es de 2.21mg/L por debajo del límite máximo permisible de la OMS (30mg/L), esto permite concluir que el agua subterránea del acuífero no posee materia orgánica susceptible a ser oxidada. En la gráfica 11 se presentan los valores promedio de los pozos analizados.

La figura 16 muestra que los niveles promedio de la demanda biológica de oxígeno no sobrepasan los 10mg/L establecidos por OMS.

Gráfica 11. Valores promedio de DBO_5 en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



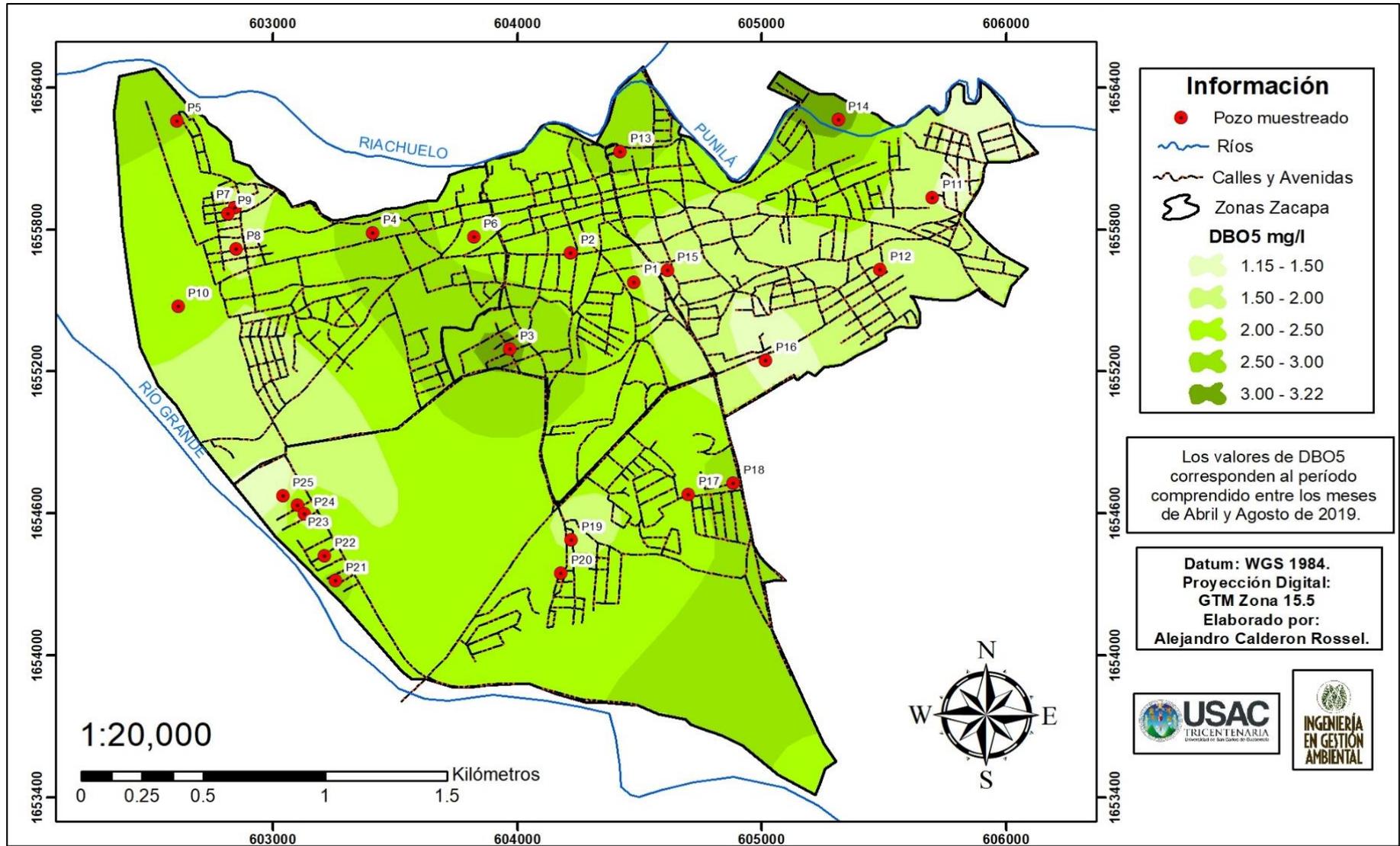
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 16. Resultados de la demanda biológica de oxígeno (DBO5) de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Demanda biológica de oxígeno (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	2.59	3.73	1.51	0.48	2.08
P2	Z.1 P.2	2.05	0.06	5.18	1.27	2.14
P3	Z.1 P.3	2.23	3.80	5.90	0.42	3.09
P4	Z.2 P.1	2.23	7.47	1.14	0.36	2.80
P5	Z.2 P.2	2.11	5.00	3.01	0.12	2.56
P6	Z.2 P.3	2.95	3.25	2.53	0.42	2.29
P7	Z.2 P.4	2.53	3.67	1.63	0.00	1.96
P8	Z.2 P.5	2.23	3.49	2.11	0.00	1.96
P9	Z.2 P.6	1.75	5.12	0.30	0.84	2.00
P10	Z.2 P.7	1.99	4.46	2.05	0.42	2.23
P11	Z.3 P.1	2.77	0.12	2.89	0.24	1.51
P12	Z.3 P.2	2.53	1.99	2.59	0.72	1.96
P13	Z.3 P.3	3.07	2.35	4.04	1.45	2.73
P14	Z.3 P.4	3.13	2.65	3.37	3.55	3.18
P15	Z.3 P.5	3.01	1.14	0.60	1.93	1.67
P16	Z.3 P.6	3.92	1.02	0.48	0.00	1.36
P17	Z.4 P.1	6.93	1.87	0.48	0.12	2.35
P18	Z.4 P.2	6.02	2.35	2.77	0.12	2.82
P19	Z.4 P.3	3.31	2.89	0.78	0.66	1.91
P20	Z.4 P.4	2.05	3.86	2.23	0.84	2.24
P21	Z.4 P.5	2.77	2.29	3.37	2.05	2.62
P22	Z.4 P.6	2.77	2.89	2.71	0.00	2.09
P23	Z.4 P.7	1.63	5.72	2.65	0.24	2.56
P24	Z.4 P.8	1.93	2.53	2.71	0.66	1.96
P25	Z.4 P.9	2.53	0.18	0.60	1.81	1.28
Valores de referencia Organización Mundial de la Salud (OMS)				Límite máximo aceptable: 30 mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 16. Mapa de la Demanda Biológica de Oxígeno en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

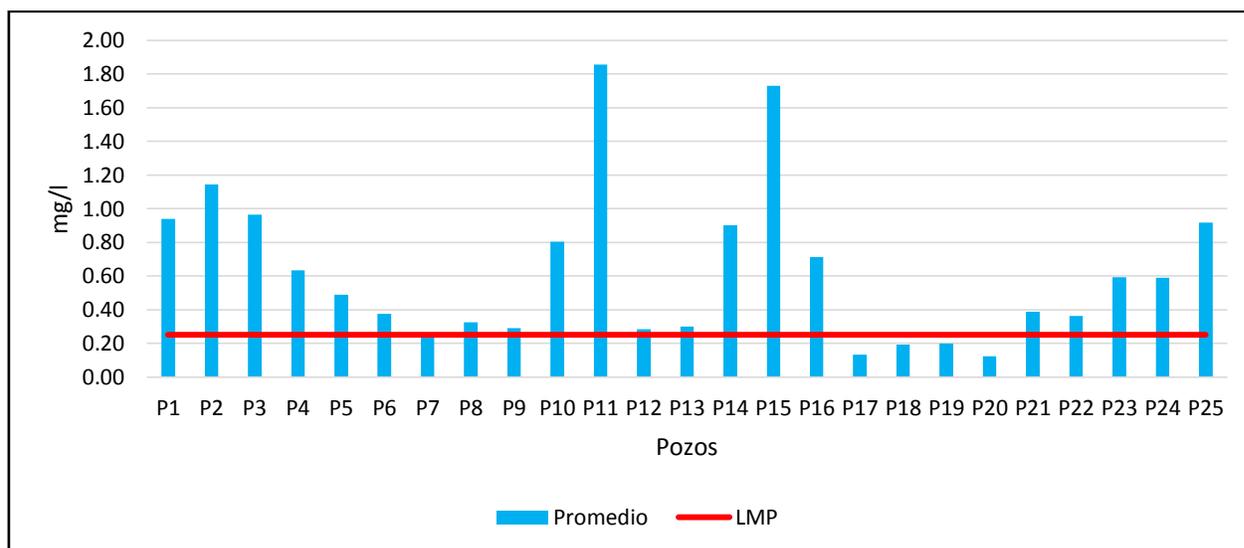
8.2.13 Fosfatos

El fósforo está presente en aguas naturales en pequeñas concentraciones; se encuentran en detergentes, fertilizantes y pueden llegar al agua subterránea por medio de la infiltración en el suelo.

La tabla 17, muestra las concentraciones de fosfatos promedio para monitoreo, de acuerdo a los resultados los niveles promedio son 0.62mg/L, el cual es superior al LMP (0.25mg/L establecido en la norma CONAGUA. El valor promedio más alto de fosfatos es de 1.85mg/L, y el valor promedio más bajo es de 0.13mg/L, los pozos con mayores concentraciones de fosfatos son P1, P2, P3 P10, P11, P14, P15, P16. 20 pozos el agua supera el límite máximo permisible (0.25mg/L).

La gráfica 12, muestra los pozos donde los niveles de fosfatos superan el límite máximo permisible, y en la figura 17 se observa que los pozos con la mayor concentración de fosfatos se ubican en las zonas del centro de la ciudad de Zacapa.

Gráfica 12. Valores promedio de fosfatos en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



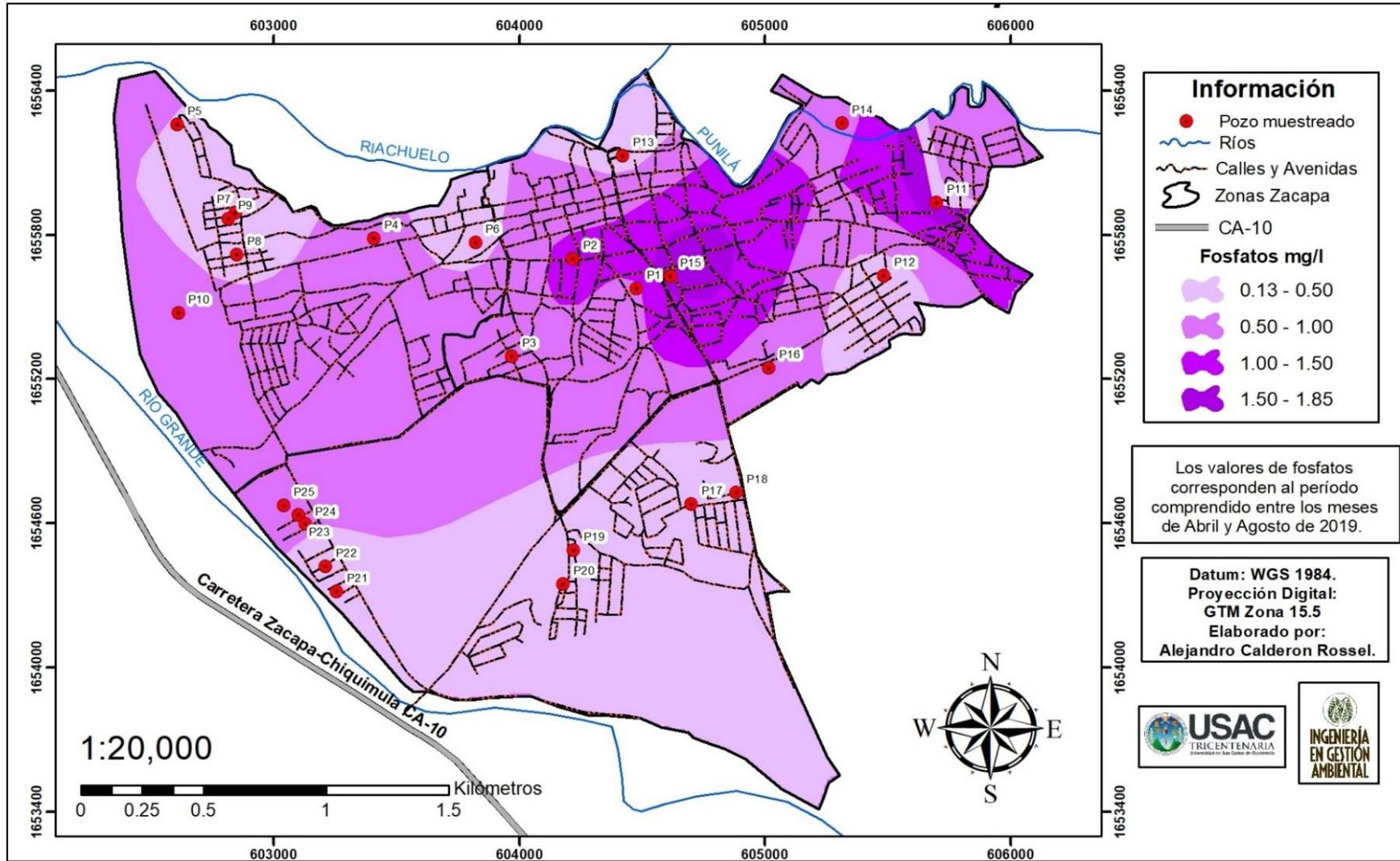
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 17. Resultados de fosfatos de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Fosfatos (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	0.79	0.87	0.95	1.14	0.94
P2	Z.1 P.2	0.32	0.57	2.30	1.38	1.14
P3	Z.1 P.3	1.01	1.08	0.95	0.80	0.96
P4	Z.2 P.1	0.35	1.46	0.37	0.34	0.63
P5	Z.2 P.2	0.69	0.48	0.39	0.38	0.49
P6	Z.2 P.3	0.23	0.46	0.42	0.38	0.38
P7	Z.2 P.4	0.17	0.33	0.25	0.23	0.25
P8	Z.2 P.5	0.32	0.35	0.35	0.27	0.33
P9	Z.2 P.6	0.20	0.46	0.22	0.26	0.29
P10	Z.2 P.7	0.65	1.43	0.58	0.53	0.80
P11	Z.3 P.1	1.59	2.06	1.84	1.92	1.85
P12	Z.3 P.2	0.23	0.33	0.28	0.28	0.28
P13	Z.3 P.3	0.23	0.35	0.31	0.30	0.30
P14	Z.3 P.4	0.87	0.92	0.92	0.88	0.90
P15	Z.3 P.5	1.69	1.56	1.77	1.88	1.73
P16	Z.3 P.6	0.68	0.73	0.71	0.72	0.71
P17	Z.4 P.1	0.09	0.17	0.14	0.12	0.13
P18	Z.4 P.2	0.06	0.37	0.15	0.18	0.19
P19	Z.4 P.3	0.09	0.48	0.07	0.15	0.20
P20	Z.4 P.4	0.07	0.16	0.13	0.12	0.13
P21	Z.4 P.5	0.36	0.46	0.30	0.42	0.39
P22	Z.4 P.6	0.25	0.44	0.32	0.43	0.36
P23	Z.4 P.7	0.56	0.74	0.55	0.51	0.59
P24	Z.4 P.8	0.38	1.12	0.46	0.38	0.59
P25	Z.4 P.9	0.91	0.96	0.92	0.86	0.92
Valor de referencia CONAGUA				Límite máximo permisible: 0.25mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 17. Mapa de fosfatos en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



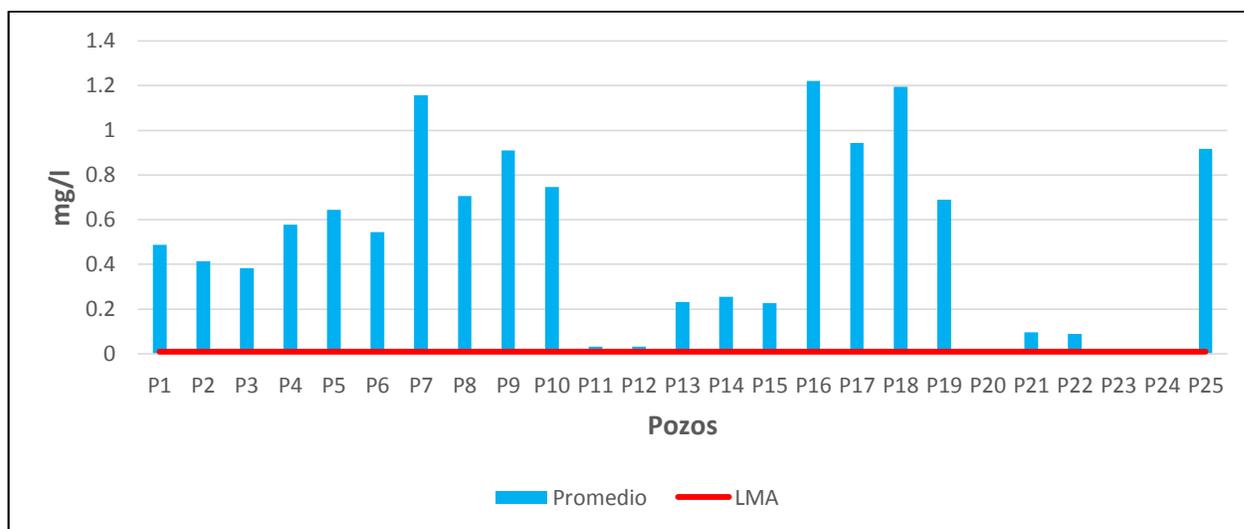
Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.2.14 Arsénico

El arsénico es un elemento distribuido extensamente por la corteza terrestre, la principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales de origen natural; en ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo, según la OMS (2006), en el agua, tanto superficial como subterránea, el arsénico comúnmente se encuentra en estado de oxidación +5 (arseniato) y +3 (arsenito).

En la gráfica 13, se muestra los pozos con presencia de arsénico en el agua, en los monitoreos realizados.

Gráfica 13. Valores promedio de arsénico en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla 18, muestran las concentraciones de arsénico en los monitoreos realizados, los promedios para cada pozo muestreado, la concentración promedio más alta es de 1.22mg/L y la más baja es de 0.0124 mg/L; es importante indicar que el pozo P210, ubicado en la zona 4 no mostro presencia de arsénico en ninguno de los monitoreos realizados. En el cuarto monitoreo (mes de agosto), no se detectó la presencia de arsénico en el agua de los pozos, la presencia y mayor concentración de arsénico se

detectó en el primer y segundo monitoreo, los resultados muestran que hay mayor concentración de arsénico en la época de verano y este disminuye en la época lluviosa.

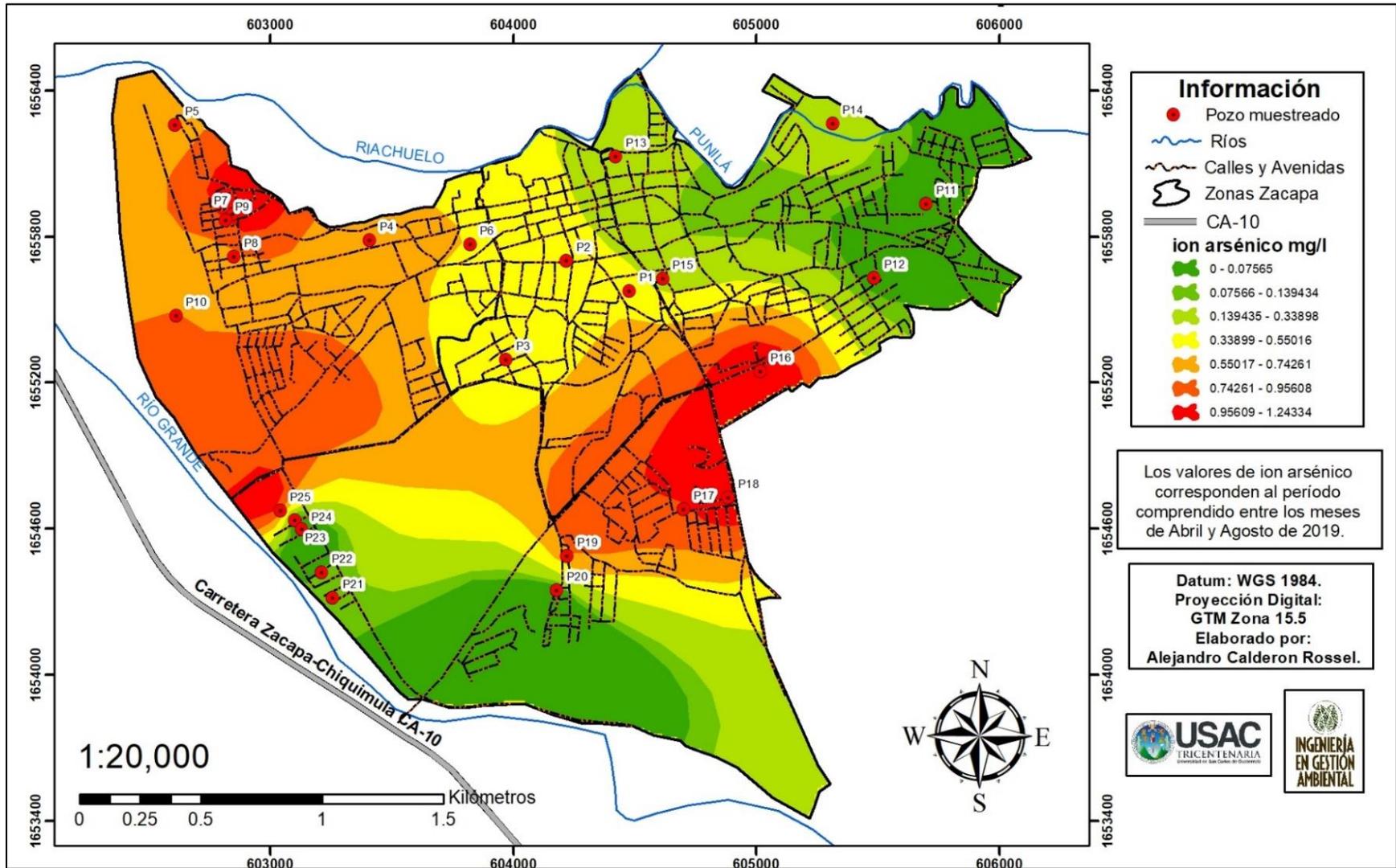
Tabla 18. Resultados de arsénico de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Unidades en Miligramos por litro (mg/L)				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	1.9530	0.0000	0.0000	0.0000	0.4882
P2	Z.1 P.2	1.6530	0.0000	0.0000	0.0000	0.4132
P3	Z.1 P.3	1.5362	0.0000	0.0000	0.0000	0.3840
P4	Z.2 P.1	2.1341	0.0000	0.1770	0.0000	0.5777
P5	Z.2 P.2	2.5739	0.0000	0.0000	0.0000	0.6434
P6	Z.2 P.3	1.7865	0.3908	0.0000	0.0000	0.5443
P7	Z.2 P.4	2.7254	1.0706	0.8350	0.0000	1.1576
P8	Z.2 P.5	2.0882	0.5468	0.1850	0.0000	0.7050
P9	Z.2 P.6	2.6917	0.9473	0.0000	0.0000	0.9097
P10	Z.2 P.7	2.5967	0.3843	0.0000	0.0000	0.7452
P11	Z.3 P.1	0.1327	0.0000	0.0000	0.0000	0.0331
P12	Z.3 P.2	0.0000	0.0000	0.1310	0.0000	0.0327
P13	Z.3 P.3	0.9234	0.0000	0.0000	0.0000	0.2308
P14	Z.3 P.4	0.4525	0.0000	0.5710	0.0000	0.2559
P15	Z.3 P.5	0.9102	0.0000	0.0000	0.0000	0.2275
P16	Z.3 P.6	2.8117	2.0700	0.0000	0.0000	1.2204
P17	Z.4 P.1	0.0000	3.7697	0.0000	0.0000	0.9424
P18	Z.4 P.2	0.6694	4.1067	0.0000	0.0000	1.1940
P19	Z.4 P.3	0.0000	2.7576	0.0000	0.0000	0.6894
P20	Z.4 P.4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P21	Z.4 P.5	0.3855	0.0000	0.0000	0.0000	0.0963
P22	Z.4 P.6	0.3522	0.0000	0.0000	0.0000	0.0880
P23	Z.4 P.7	0.0497	0.0000	0.0000	0.0000	0.0124
P24	Z.4 P.8	0.0856	0.0000	0.0000	0.0000	0.0214
P25	Z.4 P.9	2.7122	0.9574	0.0000	0.0000	0.9174
Valores de referencia COGUANOR 29001				Límite máximo aceptable: < 0.01 mg/L		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La figura 18, muestra la distribución geográfica de la concentración de arsénico, revelando que los pozos ubicados en las zonas 1, 2 y 4 de la ciudad tienen mayor concentración de arsénico y los pozos ubicados en la zona 3 presentaron concentraciones menores de arsénico.

Figura 18. Mapa de arsénico en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.3 Bacterias coliformes fecales

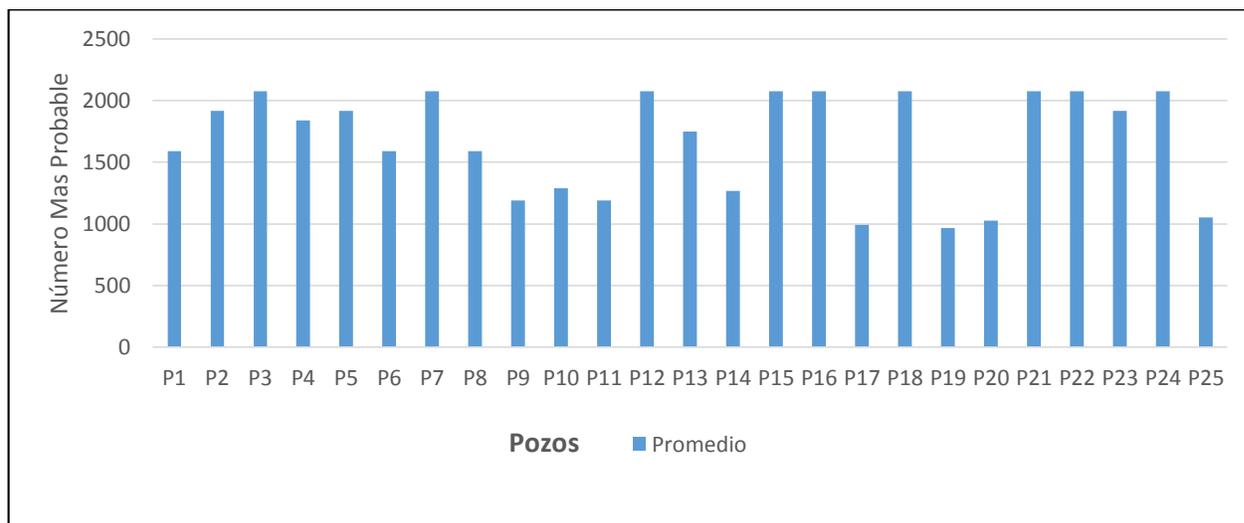
La contaminación del agua subterránea por coliformes fecales es abundante porque en los cuatro monitoreos el agua de los pozos muestreados mostraron presencia de bacterias coliformes fecales, esto indica contaminación bacteriológica en el agua subterránea.

La gráfica 14 muestra que el agua de la totalidad de los pozos muestreados tiene altas concentraciones de bacterias coliformes fecales, superando los valores de referencia establecidos por la norma COGUANOR.

En la tabla 19, se muestran las concentraciones de bacterias coliformes fecales para cada uno de los monitoreos; la concentración promedio más baja es de 965NMP/100ml, y la más alta es de 2075NMP/ml, para los pozos bajo estudio la concentración supera los valores de referencia, esto indica que el agua no es apta para consumo humano sin tratamiento

En la figura 19 se muestra la distribución geográfica de las bacterias coliformes fecales de acuerdo a su concentración en el agua subterránea los pozos ubicados en las zonas 1 y 3 presentan la mayor concentración de bacterias coliformes fecales.

Gráfica 14. Valores promedio de coliformes fecales en los pozos de estudio de la ciudad de Zacapa, 2019



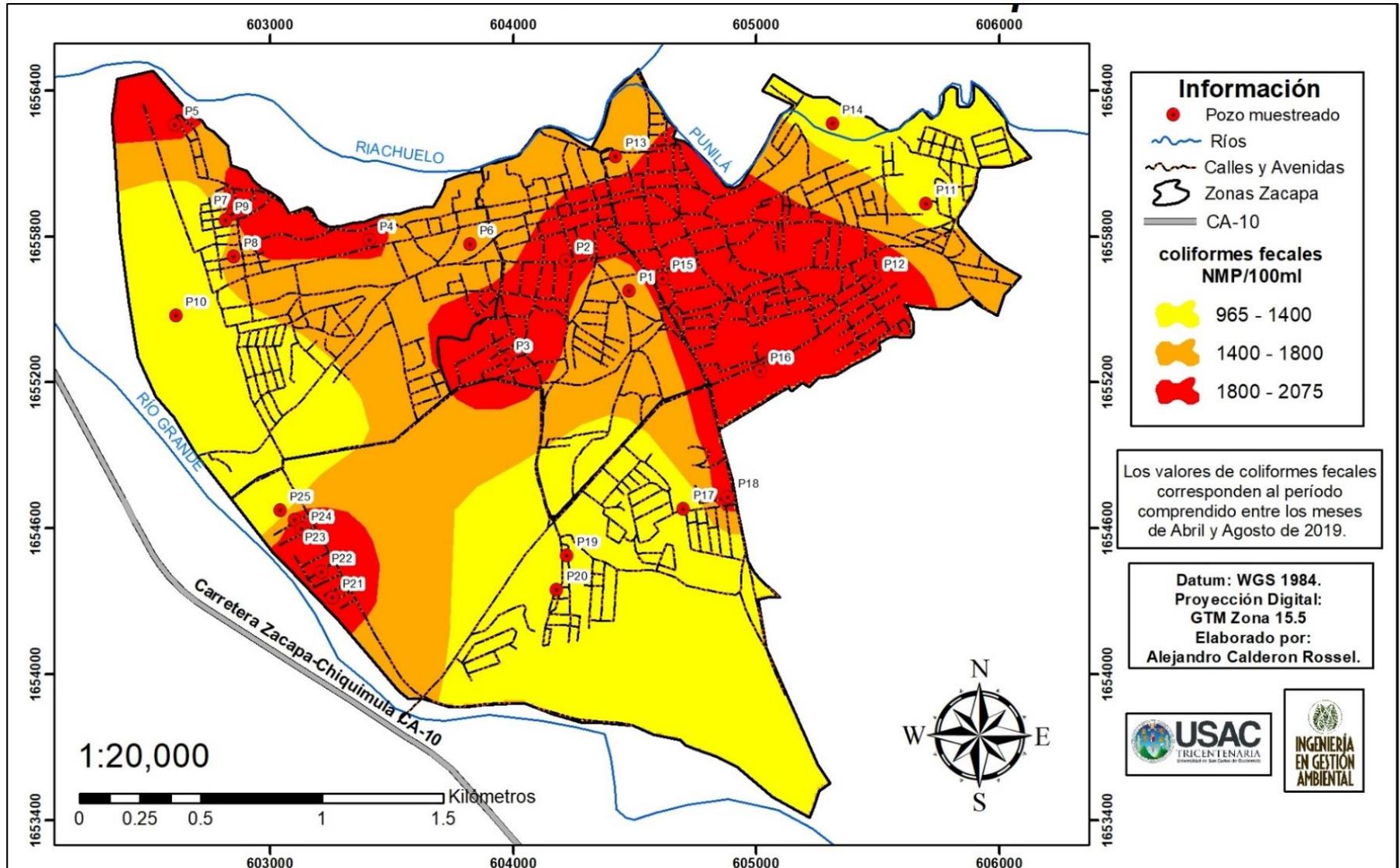
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 19. Resultados de bacterias coliformes fecales de los pozos bajo estudio en la ciudad de Zacapa, 2019

Punto	Pozo	Coliformes fecales NMP en 100 mililitros				
		Primer monitoreo Abril 2019	Segundo monitoreo Mayo 2019	Tercer monitoreo Julio 2019	Cuarto monitoreo Agosto 2019	Promedio
P1	Z.1 P.1	2400	2400	1100	460	1590
P2	Z.1 P.2	2400	2400	460	2400	1915
P3	Z.1 P.3	2400	2400	1100	2400	2075
P4	Z.2 P.1	2400	2400	150	2400	1837
P5	Z.2 P.2	2400	2400	460	2400	1915
P6	Z.2 P.3	2400	1100	460	2400	1590
P7	Z.2 P.4	2400	2400	1100	2400	2075
P8	Z.2 P.5	2400	2400	460	1100	1590
P9	Z.2 P.6	150	2400	1100	1100	1187
P10	Z.2 P.7	150	2400	210	2400	1290
P11	Z.3 P.1	1100	150	1100	2400	1187
P12	Z.3 P.2	1100	2400	2400	2400	2075
P13	Z.3 P.3	1100	1100	2400	2400	1750
P14	Z.3 P.4	1100	1100	460	2400	1265
P15	Z.3 P.5	2400	2400	2400	1100	2075
P16	Z.3 P.6	2400	1100	2400	2400	2075
P17	Z.4 P.1	9	2400	460	1100	992
P18	Z.4 P.2	2400	2400	1100	2400	2075
P19	Z.4 P.3	210	1100	150	2400	965
P20	Z.4 P.4	150	1100	460	2400	1027
P21	Z.4 P.5	1100	2400	2400	2400	2075
P22	Z.4 P.6	2400	2400	2400	1100	2075
P23	Z.4 P.7	2400	2400	460	2400	1915
P24	Z.4 P.8	2400	1100	2400	2400	2075
P25	Z.4 P.9	240	2400	1100	460	1050
Valor de referencia COGUANOR 19001				No debe existir presencia de coliformes.		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 19. Mapa de coliformes fecales en el agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019.

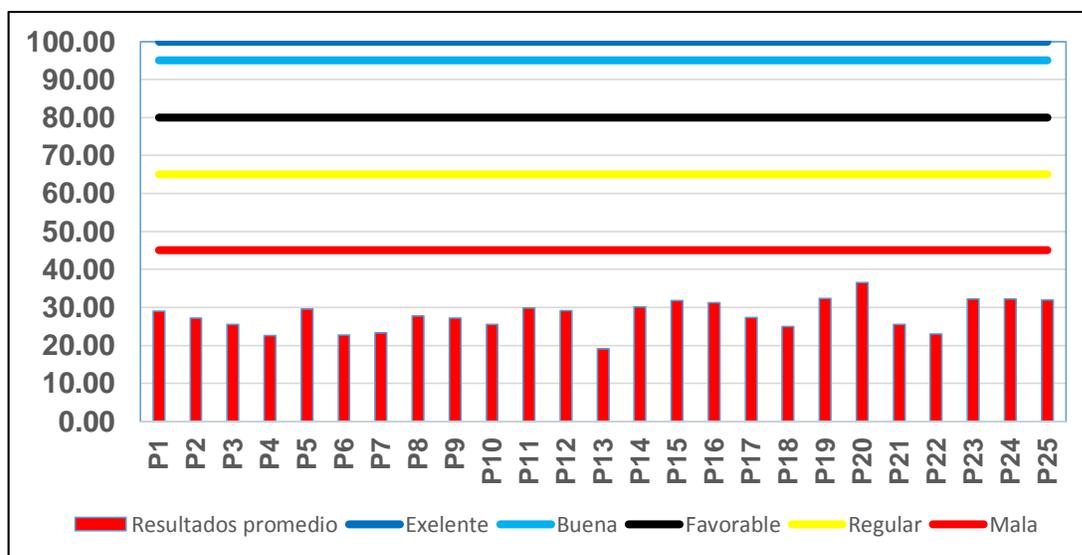
8.4 Calidad del agua subterránea en el casco urbano de la ciudad de Zacapa.

Para determinar la calidad de agua se utilizaron los valores promedio de los 14 parámetros: pH, Temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días, dureza, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, arsénico bacterias coliformes fecales.

Los resultados promedio de calidad de agua que se obtuvieron en cada pozo muestreado de los cuatro monitoreos realizados en el casco urbano de la ciudad de Zacapa se determinó la calidad del agua con base a la clasificación según la metodología canadiense de calidad de Agua (CCME_WQI) que se presenta en el cuadro 4. Según el índice canadiense de calidad de agua se clasifican en 5 escalas excelente, buena, favorable, regular y mala.

La tabla 20, muestra los resultados del Índice Canadiense de Calidad de Agua para los 25 pozos objeto de estudio, de acuerdo a los valores del índice canadiense de calidad oscilan entre 19.10 a 36.46, el agua subterránea de la ciudad de Zacapa se clasifica de calidad “mala”. Esto se debe a los niveles de dureza, nitratos, fosfatos, arsénico, la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de bacterias coliformes fecales.

Gráfica 15. Promedio de calidad de agua en los pozos muestreados



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los resultados de la gráfica 15 muestran que ninguno de los pozos logro obtener un valor promedio más alto del 35% de calidad, por lo que se deduce que la contaminación en el acuífero es homogénea en toda el área del casco urbano de la ciudad de Zacapa.

Tabla 20. Índice Canadiense de Calidad de Agua y clasificación de la calidad del agua subterránea de la ciudad de Zacapa, 2019

Pozo	Resultado del CCME-WQI	Clasificación de la calidad del agua
P1	28.99	Mala
P2	27.22	Mala
P3	25.54	Mala
P4	22.61	Mala
P5	29.59	Mala
P6	22.74	Mala
P7	23.33	Mala
P8	27.69	Mala
P9	27.18	Mala
P10	25.46	Mala
P11	29.84	Mala
P12	29.22	Mala
P13	19.10	Mala
P14	30.08	Mala
P15	31.78	Mala
P16	31.30	Mala
P17	27.35	Mala
P18	25.02	Mala
P19	32.33	Mala
P20	36.49	Mala
P21	25.57	Mala
P22	23.01	Mala
P23	32.26	Mala
P24	32.18	Mala
P25	31.95	Mala

Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.5 Propuesta de lineamientos generales para mejorar la calidad del agua subterránea que utiliza la población de la ciudad de Zacapa

A continuación, se presenta una propuesta de lineamientos generales que buscan orientar el desarrollo de estrategias, que permitan la gestión del recurso hídrico subterráneo, con el fin de maximizar el aprovechamiento de este y el mejoramiento de su calidad para asegurar su sostenibilidad.

Los lineamientos propuestos se basaron en los siguientes principios:

- a) Reglamentación y regulación en materia de gestión hídrica, sobre la conservación, preservación y uso del recurso hídrico incluyendo la eficiencia y aprovechamiento tanto de las aguas subterráneas como superficiales.
- b) Formulación y diseño de acciones orientadas al ahorro y uso eficiente del recurso hídrico y a la prevención de la contaminación de las fuentes de agua.
- c) Formulación de políticas públicas, para la protección y uso sostenible del agua subterránea.
- d) Coordinar, promocionar y orientar acciones de información e investigación enfocadas al recurso hídrico subterráneo en la ciudad de Zacapa.
- e) Programas de asistencia técnica dirigidos a la población que cuenta con pozo permitiendo transferir guías y herramientas que sean adecuada para el aprovechamiento del recurso hídrico.
- f) Identificación de posibles fuentes de financiamiento para impulsar programas y proyectos que contribuyan con la gestión integral del recurso hídrico subterráneo.

Cuadro 3. Matriz de lineamientos generales enfocados a mejorar la calidad del agua subterránea que utiliza la población de la ciudad de Zacapa.

No.	Problemática identificada en el agua subterránea (Pozos)	Probables impactos negativos	Objetivo	Indicadores	Estrategias	Responsable
1	Bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua subterránea de los pozos monitoreados	*Limitación para el uso en sistemas acuícolas. *Toxicidad.	Mejorar las concentraciones de oxígeno disuelto del agua proveniente de los pozos muestreados hasta alcanzar los valores de referencia de la norma COGUANOR	Valores entre los 6.5 hasta 8.5 mg/L de Oxígeno Disuelto.	*Capacitar a los usuarios sobre métodos caseros de incorporación de oxígeno al agua.	*Propietarios. *Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM). *Ministerio de Ambiente.
2	Concentraciones de carbonato de calcio (dureza) superiores a los valores referenciales en el agua.	*Obstrucción en tuberías por presencia de sarro. *Problemas renales *Problemas Dermatológicos.	Reducir la concentración de carbonatos de calcio (dureza) presente en el agua de los pozos estudio hasta alcanzar valores de consumo humano	Concentraciones menores a los 100mg/L de CaCO ₃ presentes en el agua.	*Promover el uso de filtros capaces de remover la dureza del agua. * Purificadores de agua. *Calentar el agua hasta que precipite el CaCO ₃ *Aplicación de ablandadores de agua.	*Propietarios *Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM). *ONGs *Ministerio de salud

3	Presencia de ion arsénico en el agua por encima de lo establecido en la Norma COGUANOR.	<ul style="list-style-type: none"> *Bioacumulación de isótopo de arsénico. *Infertilidad. *Abortos. *Diversos tipos de cáncer. *Problemas dermatológicos. *Toxicidad 	Reducir el consumo de agua subterránea en áreas con presencia de ion arsénico en el casco urbano de la ciudad de Zacapa.	Valores mayores a 0.01 mg/l de ion arsénico presentes en el agua subterránea.	<ul style="list-style-type: none"> *Realizar mayores investigaciones referentes a presencia de arsénico en el área *Regular la perforación de pozos en áreas donde existe mayor concentración de arsénico *Uso de equipos removedores de metales pesados (osmosis inversa) 	<ul style="list-style-type: none"> *Ministerio de Ambiente. *Ministerio de Salud *Universidades. *Unidad de gestión ambiental municipal. *Población en general
4	Niveles de temperatura del agua superiores a los valores de referencia establecidas en la norma COGUANOR	<ul style="list-style-type: none"> *Problemas gastrointestinales *Reducción del oxígeno disuelto *Favorece el desarrollo de bacterias 	Brindar a los usuarios de pozos agua con temperatura entre los 15 – 25 grados centígrado.	Reducir la temperatura del agua proveniente de pozo entre 10 a 15 grados centígrados.	<ul style="list-style-type: none"> *Uso de tanque de retención. *Método de enfriamiento por evaporación. *Métodos mecánicos de compresión y absorción. 	*Propietarios

5	Elevadas concentraciones de nitratos en el agua subterránea.	<p>*Incremento en las concentraciones de colonias de bacterias</p> <p>*Enfermedades gastrointestinales.</p> <p>*Metamoglobinemia</p>	Ofrecer a los propietarios de los pozos agua con concentraciones de nitratos dentro de los valores de referencia de la norma COGUANOR.	Reducir las concentraciones de nitratos provenientes de agua de pozo a valores menores a 10mg/l.	<p>*Uso de equipos capaces de remover nitratos (osmosis inversa)</p> <p>*Métodos de tratamientos bioquímicos.</p> <p>*Tratamiento con ozono.</p> <p>*Aplicación de tratamientos nitrificadores biológicos.</p>	<p>*Propietarios de Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM).</p> <p>*Universidades</p> <p>*Ministerio de salud.</p> <p>*Ministerio de Ambiente.</p>
6	Presencia de fosforo en el agua subterránea en concentraciones superiores a los valores referenciales de la norma COGUANOR	<p>*Reducción en la concentración de oxígeno.</p> <p>*Eutrofización de los cuerpos de agua.</p>	Brindar a los usuarios de pozos agua libre de fosfatos.	Valores inferiores a los 0.25 mg/l de fosfatos en el agua.	<p>*Aplicación de tratamientos bioquímicos.</p> <p>*Tratamiento con ozono</p> <p>*Uso de equipos capaces de remover nitratos (osmosis inversa).</p> <p>*Uso de microorganismos como reductores de fosfatos.</p>	<p>*Propietarios de Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM).</p> <p>*Universidades</p> <p>*Ministerio de salud.</p> <p>*Ministerio de Ambiente.</p>

7	Presencia de coliformes fecales y E. Coli en el agua de los pozos en concentraciones que superan los valores de referencia establecidos en la Norma COGUANOR	<ul style="list-style-type: none"> *Gastroenteritis aguda. *Parásitos *Infecciones gastrointestinales. *Diarrea. Cólera. 	Ofrecer agua para consumo humano, uso doméstico e industrial a la población de la ciudad de Zacapa libre de bacterias coliformes fecales.	NMP/100ml de bacterias coliformes fecales	<ul style="list-style-type: none"> *Implementación de métodos caseros de esterilización del agua (hervir agua, aplicación de cloro). *Mantenimiento en el sistema de drenajes de la ciudad de Zacapa. *Desinfección con luz UV. *Instalación de biodigestores comunales. 	<ul style="list-style-type: none"> *Municipalidad de Zacapa (UGAM). *Área de Saluda del departamento de Zacapa. *Población de la ciudad de Zacapa. *Empresas purificadoras de agua para consumo humano. *Ministerio de Ambiente.
---	--	---	---	---	--	---

Fuente: Elaboración propia, 2020.

9. CONCLUSIONES

1. En la ciudad de Zacapa, el 6.31% de las viviendas cuentan con pozo, se estimó que existen aproximadamente 527 pozos, en su mayoría de perforación artesanal, el 62.61% de los pozos se ubican en las zonas 2 y 4.
2. El nivel freático del acuífero se ubica entre los 180 y 220 msnm; con una profundidad promedio de los pozos de 21.12 m.
3. De acuerdo a los análisis físico-químicos, se pudo establecer que los parámetros de temperatura, dureza, oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos tienen niveles superiores a los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles.
4. El agua del 95% de los pozos analizados presentan concentraciones de arsénico superiores a 0.01mg/L.
5. El 100% del agua de los pozos analizados tiene concentraciones de bacterias coliformes fecales con valores promedio de 1,670 NMP/100ml, que superan los valores de referencia.
6. Con el índice canadiense de calidad del agua (CCME_WQI), se determinó que el agua de los pozos analizados tiene calidad de agua clasificada como “mala”, con un índice que varía de 19.10 a 36.42 por ciento; por tanto, el agua no es apta para consumo humano si previo tratamiento.

10. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones que permitan generar conocimiento sobre: tipos de abastecimiento, caudales, usos del agua y volúmenes de consumo en la ciudad de Zacapa; que permita tomar de decisiones y acciones para la gestión sostenible del recurso hidrológico subterráneo.
2. Realizar monitoreos periódicos del nivel freático, para conocer la potencialidad o limitantes del acuífero del cual se abastecen a la población en la ciudad de Zacapa.
3. Por las altas concentraciones de nitratos, fosfatos, arsénico y bacterias coliformes fecales, es necesario aplicar métodos de purificación del agua, si esta se destina para el consumo humano y actividades domésticas.
4. Continuar con el monitoreo periódico del arsénico en el agua subterránea, para evaluar si este metal pesado está presente de forma permanentes o temporal en el agua.
5. Determinar la presencia de otros metales pesados en el agua subterránea como: cadmio, cromo, plomo y mercurio.
6. Desarrollar investigaciones que permitan identificar las principales fuentes de contaminación del agua subterránea de la ciudad de Zacapa.
7. Determinar la calidad del agua de la red hidrológica superficial en la ciudad de Zacapa, utilizando el índice canadiense de calidad de agua o el índice general de calidad de agua -ICA-.
8. Desarrollar programas y proyectos a nivel municipal que permitan el uso y manejo sostenible del recurso hídrico en la ciudad de Zacapa, a través de la participación de diversos actores y la población.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero-Valverde, J; Pujol Mesalles, R. 2000. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del valle Central de Costa Rica (en línea). *In* Conferencia Anual Latinoamericana de Usuarios ESRI/Erdas y Conferencia Internacional de Topografía (7 y 6, 2000, San José, Costa Rica). Costa Rica. 38 p. Consultado 20 julio 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/JonathanAgueroValverde/publication/276989081_Analisis_de_vulnerabilidad_a_la_contaminacion_de_una_seccion_de_los_a_cuiferos_del_Valle_Central_de_Costa_Rica/links/555cbdba08ae8c0cab2a65f0/Analisis-de-vulnerabilidad-a-la-contaminacionde-una-seccion-de-los-acuiferos-del-Valle-Central-de-CostaRica.pdf?origin=publication_detail
- Alfaro Vásquez, KV; Escobar Hernández, JL; Hernández, DM. 2014. Uso y manejo del agua para el consumo humano en relación a la protección jurídica del medio ambiente (en línea). Tesis Lic. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 108 p. Consultado 25 jun. 2019. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5833/1/USO%20Y%20MANEJO%20DEL%20AGUA%20PARA%20EL%20CONSUMO%20%20HUMANO%20EN%20RELACION%20%20L%20PROTECCION%20JURIDICA%20DEL%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf>
- Argueta Cermeño, L. 2005. Propuesta de valoración económica del servicio ambiental de captación hídrica del bosque, microcuenca del río el Riachuelo, montaña las granadillas, Zacapa. (en línea). Zacapa, Guatemala. 114 p. Consultado 15 mayo 2018. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2218.pdf
- Argueta Cermeño, LA. 2005. Propuesta de valoración económica del servicio ambiental de captación hídrica del bosque, microcuenca del río El Riachuelo, montaña Las Granadillas, Zacapa (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 114 p. Consultado 15 may. 2018. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2218.pdf

Balmaseda Espinosa, C; García Hidalgo, Y. 2014. Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba (en línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(3):11-16. Consultado 18 ene. 2019. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n3/rcta02314.pdf>

Cánepa de Vargas, L (Coord.). 2004. Tratamiento de agua para consumo humano: plantas de filtración rápida; manual I: teoría (en línea). Lima, Perú, CEPIS/OPS/OMS. v. 1, p. 5, 6 Consultado 20 jun. 2019. Disponible en <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->

Cerón Elías, VC. 2016. Línea base para la determinación de arsénico en el agua de pozo de la ciudad de Chiquimula, municipio de Chiquimula, Departamento de Chiquimula, Guatemala 2015 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, CUNORI-USAC. p 14, 15. Consultado 20 junio 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Linea_base_para_la_determinacion_de_arsenico_en_el_agua_de_pozo_de_la_ciudad_de_chiquimula_municipio_de_chiquimula_d_e-partamento_de_chiquimula_guatemala_2015.pdf

Chegüen Lemus, S. 2017. Evaluación de la gestión comunitaria del agua para consumo humano en el área rural del departamento de Zacapa (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC, CUNORI, IGAL. 152 p. Consultado 8 ene. 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacin_de_la_gestin_comunitaria_del_agua_para_consumo_humano_en_el_rea_rural_del_departamento_de_Zacapa_2017.pdf

COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 2003. Agua potable, especificaciones: COGUANOR NGO 29 001:99 (en línea). Guatemala. 15 p. Consultado 23 ago. 2015. Disponible en http://www.ada2.org/sala_prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99

Collazo Caraballo, MP; Montaña Xavier, J. 2012. Manual de agua subterránea (en línea). Monte video, Uruguay, MGAP/Denad Internacional S.A. 121 p. Consultado 23 ago. 2018. Disponible en http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/Manual-de-agua-sub-terranea-Uruguay.pdf

Congreso de la República de Guatemala. 1997. Código de Salud. Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 50 p. Consultado 23 mayo 2018. Disponible en http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/legislations/pdf/gt/decreto_congresional_90-97.pdf

COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 2009. Norma guatemalteca obligatoria: agua potable (en línea). Guatemala. 2 p. Consultado 8 may 2014. Disponible en: http://www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99

CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). 2007. Manual de alcantarilla, agua potable y saneamiento (en línea). México. 54 p. Consultado 15 de julio 2019. Disponible en http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11_Diseño_De_Plantas_Potabilizadoras_Tipo_De_Tecnología_Simplificada.pdf

CCME (Consejo canadiense de ministros del medio ambiente). 2001. Manual Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, CCME_WQI, Canada. (en línea). Toronto, Canadá. 5 p. Consultado 19 enero 2019. Disponible en: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/138>

Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. 2000. Evaluación de recursos de agua en Guatemala. Consultado 15 julio 2018. Disponible en: https://www.sam.usace.army.mil/Portals/46/docs/military/engineering/docs/WRA_Guatemala/Guatemala%20WRA%20Spanish.pdf

García R. 2009. Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrográfica superficial de la ciudad de Chiquimula. Tesis M Sc. Chiquimula, USAC-CUNORI Guatemala. 87 p. (en línea). Consultado 10 mayo 2018. Disponible en <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Jos%C3%A9-Ramiro-Garc%C3%ADa-%C3%81lvarez.pdf>.

Girón y Girón D. 2009. Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula, Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala USAC-CUNORI 96 p. Consultado 5 julio 2018.

Gonzales Hernández, OR. 2015. Sistemas de agua potable y perforación de pozo mecánicos en Arquitectura (en línea). Tesis Lic. Guatemala, Guatemala. USAC. p. 12. Consultado 4 julio 2015. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7339/1/OSCAR%20RENE%20GONZALEZ%20HERNANDEZ.pdf>

INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2008. Guatemala: Estimaciones de la población por municipio periodo 2008-2020 (en línea). Guatemala. 6 p. Consultado 18 sep. 2016. Disponible en [http://www.oj.gob.gt/estadistica/reportes/poblacion-total-por-municipio\(1\).pdf](http://www.oj.gob.gt/estadistica/reportes/poblacion-total-por-municipio(1).pdf)

INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2013. Caracterización departamental Zacapa 2012 (en línea). Guatemala. 74 p. Consultado 18 sep. 2016. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2013/12/09/bwyn0xhJNibPXxDmzbnCcm44qG2RQ8ze.pdf>

López Pinto, CS. 2018. Calidad del agua en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, departamento de Chiquimula, Guatemala (en línea). Tesis Lic.

Chiquimula, Guatemala USAC-CUNORI. p 11. Consultado 20 julio 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Calidad_del_agua_en_la_Red_Hidrologica_Superficial_de_la_ciudad_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_Guatemala.pdf

MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). 2003. Manual de indicadores de ambiente y los recursos naturales (en línea). Guatemala, Sistemas de información Ambiental. 80 p. Consultado 16 julio 2018. Disponible en http://uvg.edu.gt/investigacion/ceab/cea/doc/metodologias/MANUA_INDICADO_RES_MARN.pdf

MINECO (Ministerio de Economía). 2017. Perfil departamental de Zacapa (en línea). Guatemala, Guatemala. p. 4, 7. Consultado 25 jun. 2019. Disponible en <http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/zacapa.pdf>

MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social). 2013. Enfermedades transmitidas por vectores 2012 a 2018 (en línea). Consultado 10 may. 2019. Disponible en <https://sigsa.mspas.gob.gt/datos-de-salud/morbilidad/enfermedades-transmitidas-por-vectores>

Molina Vargas, MA. 2009. Evaluación de la calidad fisicoquímica de el agua de la planta municipal que abastece al departamento de Zacapa, Municipio de Zacapa (en línea). Tesis Lic. Guatemala, Guatemala, USAC. p 40. Consultado 20 de junio 2019. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2755.pdf

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Guías para la calidad de agua potable (en línea). 3 ed. Ginebra, OMS. V.1. 186-189 p. Consultado 17 julio 2019. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1

- Ordoñez Gálvez, J. 2011. Cartilla Técnica: agua subterránea, Acuíferos. (en línea). Lima, Perú. 44 p. Consultado 9 enero 2019. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf
- Orias Lidia, A. 2015. Lineamientos para un plan de gestión integral en el manejo sostenible, administrativo y protección del recurso hídrico, en el espacio costero El Coco, península de Nicoya, Costa Rica. 21 p. Consultado 20 sep. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744546004.pdf>
- Ramos Alberto A. 2011. Caracterización regional de la calidad de agua subterránea y superficial en el departamento de El Paraíso, Honduras. 48 p. Consultado 17 junio 2018. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/447/1/IAD-2011-T026.pdf>
- Quintuña Tene, JM; Samaniego Gomezcoello, MC. 2016. Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua potable de la planta potabilizadora del cantón Chordeleg (en línea). Tesis Lic. Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca. 25 p. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24847/1/TESIS.PDF>
- Reyes, CY; Vergara, I; Torres, OM, Díaz, M. González, EE. 2016. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria (en línea). Boyacá, Colombia. p. 67-69 Consultado 20 ene. 2021. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2011. Plan de desarrollo departamental de Zacapa, 2011 – 2025 (en línea). Guatemala, SEGEPLAN/PDD. p. 17, 18, 45. Consultado 18 sep. 2016. Disponible en <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/departamento-de-zacapa/category/49-planes-desarrollo-departamental>



12. ANEXO

Anexo 1. Fotografías de las diferentes actividades realizadas durante la Investigación.

Fotografía 1. Ejecución de encuestas para determinar número de pozos.



Fotografía 2. Toma de muestras para análisis bacteriológico.



Fotografía 3. Análisis fisicoquímico y bacteriológico de laboratorio

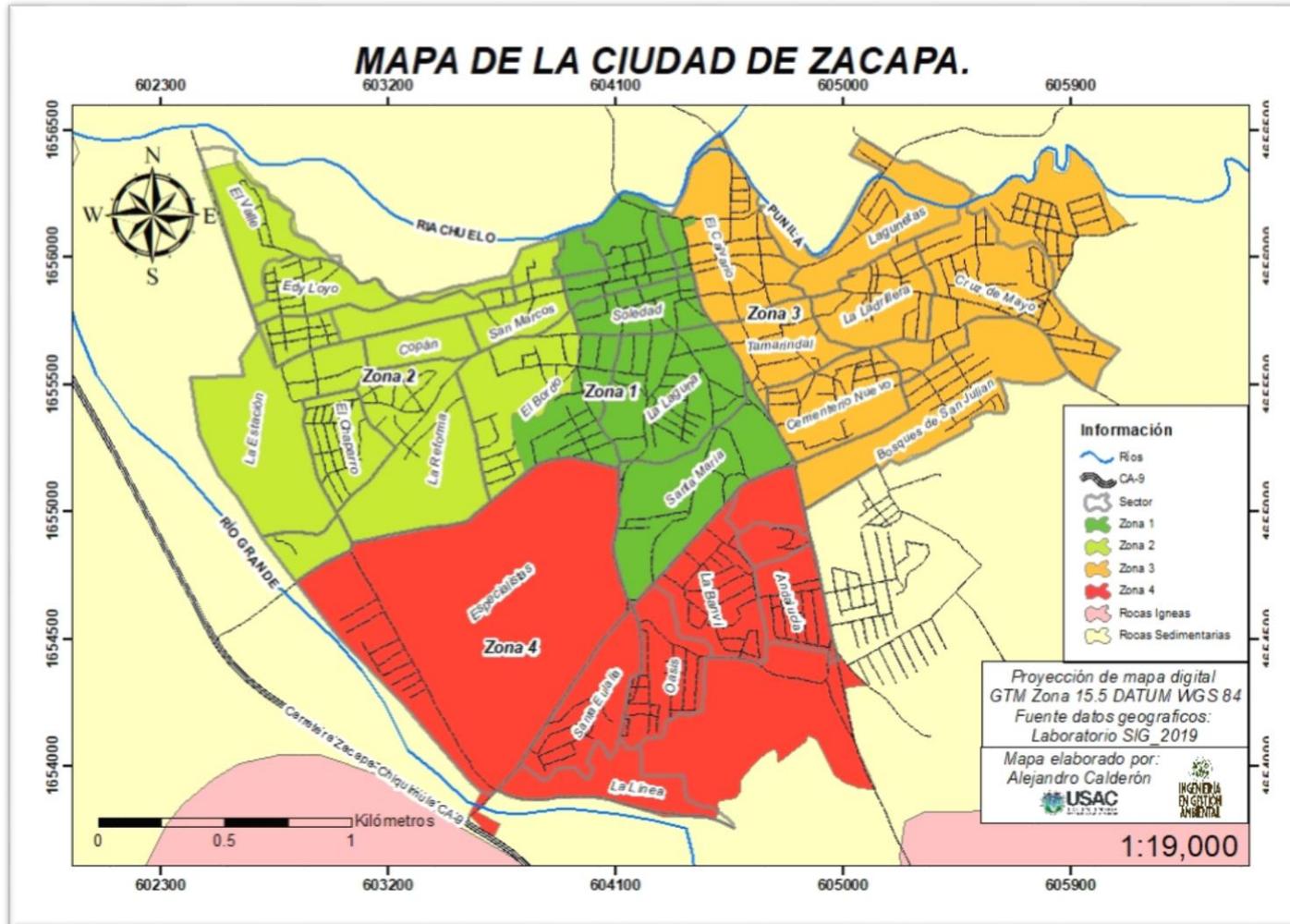


Fotografía 4. Determinación de concentraciones de nitratos a nivel de laboratorio.



13. APÉNDICE

Apéndice 1. Mapa del casco urbano de la ciudad de Zacapa.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Apéndice 2. Boleta de encuesta a viviendas para identificación de pozos en el casco urbano de la ciudad de Zacapa.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Oriente
Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental



1. ¿Dentro de su casa cuenta con algún pozo?

Sí _____ No _____

Otros especifiquen: _____

2. Su pozo es de tipo

Artesanal _____ Mecánico _____

3. Tipo de abastecimiento que le dan al agua del pozo

Domiciliar _____ colectivo _____ Negocio _____ Venta de agua _____

4. ¿Qué profundidad tiene el pozo?

Metros _____ Pies _____ Varas _____

5. ¿Qué tipos de uso de dan al agua de pozo?

Domésticos _____ consumo humano _____ otros _____

6. ¿'El pozo se encuentra "anillado" con tubos de cemento?

Sí _____ No _____ entubado: _____

7. ¿Tiene en su propiedad fosa séptica (letrina)

Sí _____ No _____

8. ¿Cuenta con servicio de drenaje su propiedad?

Sí _____ No _____

9. Su propiedad se encuentra cercana a:

Industria _____ Establos _____ Basureros _____

Información GPS No. _____ **Coordenada X** _____

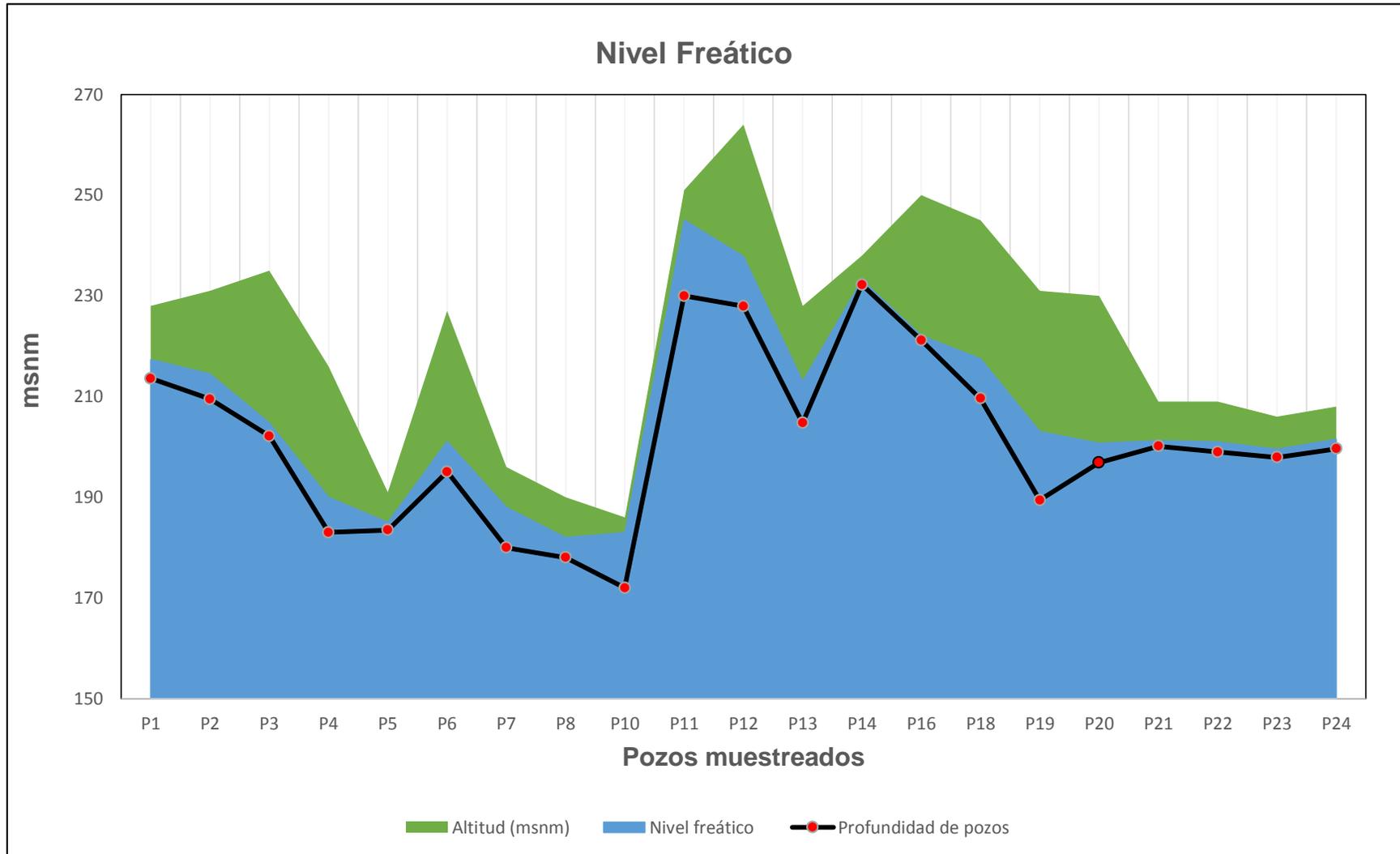
Coordenada Y _____

Apéndice 3. Límites máximos aceptables y permisibles de acuerdo a la Norma COGUANOR 29001, Organización Mundial de la Salud (OMS) y CONAGUA

Parámetro	Dimensional	Límite Máximo Aceptable	Límite Máximo Permissible		
		COGUANOR	COGUANOR	OMS (valor guía)	CONAGUA
Potencial Hidrogeno (pH)	Unidades pH	7.0-7.5	6.5-8.5	6.5-8.5	-----
Temperatura	C°	15 - 25	34	25	-----
Conductividad eléctrica	µS/cm ¹⁰	100 -750	1500	1500	-----
Oxígeno Disuelto	% de saturación	7.0- 7.5 mg/L	6.5-8.5 mg/L	-----	-----
Turbidez	FAU	5 UNT	15 UNT	5 UNT	-----
Solidos Disueltos Totales	mg/L	500	1000	1000	-----
DBO5	mg/L	-----	-----	30	-----
Dureza	mg/L	100	500	500	-----
Nitratos	mg/L	-----	10	50	-----
Nitritos	mg/L	-----	1	3	-----
Fosfatos	mg/L	-----	-----	-----	0.25
Sulfatos	mg/L	100	250	250-1000	-----
Coliformes fecales	NMP/100mL	0	0	0	-----
Arsénico	mg/L	0	0.01	0.01	-----

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Apéndice 4. Perfil freático para los pozos muestreados en la ciudad de Zacapa, 2019



Fuente: Elaboración propia, 2019

Apéndice 5. Detalle completo de los resultados obtenidos durante la fase de campo.

Parametros	Z.1 P.1				Z.1 P.2				Z.1 P.3				Z.2 P.1				Z.2 P.2				Z.2 P.3				Z.2 P.4			
	monitoreo																											
pH	7.55	7.29	5.88	7.19	7.61	7.16	5.9	7.04	7.61	7.09	6.04	6.98	7.45	5.94	5.98	6.9	7.52	7.14	6.06	6.88	7.51	6.91	5.83	7.02	7.49	6.93	5.92	6.61
Temperatura	29.2	31	28.8	29.7	32.3	29.3	29.4	28.5	31.3	29.9	29.9	30.6	30.8	29.6	30.8	30.4	30.5	30.9	30.2	30.6	30	29.7	30	29.2	35	33.9	30.6	31.8
Conductividad electrica	609	656	571	499	708	746	623	465	780	824	833	632	886	1250	705	713	407	406	472	391	885	916	698	431	999	989	693	828
Oxigeno Disuelto	5.24	6.5	6.83	6.8	5.68	3.77	4.52	4.73	4.79	5.69	5.18	5.69	2.18	3.73	2.58	2.51	2.05	4.68	2.24	1.65	5.62	5.32	5.28	5.52	4.25	3.81	3.76	3.79
Turbidez	0.38	1.1	0.48	1.13	13	1.6	0.26	1.26	0.6	1.3	1.92	3.53	0.4	0.41	0.7	1.69	15.3	3.96	0.5	1.04	3.3	9.65	15.6	4.38	0.4	1.3	3.9	0.31
Solidos Disueltos Totales	312	320	363	309	364	357	297	286	410	403	403	390	460	791	440	440	208	197	241	240	463	452	432	431	525	489	427	455
Dureza	150	220	335	260	270	165	225	255	405	265	170	390	330	545	435	410	205	225	265	235	285	270	260	425	470	410	415	400
Coliformes fecales	2400	2400	1100	460	2400	2400	460	2400	2400	2400	1100	2400	2400	2400	150	2400	2400	2400	460	2400	2400	1100	460	2400	2400	2400	1100	2400
Sulfatos	51.70	53.53	43.96	54.03	54.03	44.30	45.77	39.73	54.80	57.43	64.03	55.73	62.47	84.33	48.70	71.93	38.20	37.20	29.23	65.57	88.57	90.43	47.90	74.43	59.13	94.77	44.90	75.07
Arsénico	1.953	0	0	0	1.653	0	0	0	1.536	0	0	0	2.1341	0	0.18	0	2.57	0	0	0	1.7865	0.391	0	0	2.725	1.071	0.835	0
Nitratos	16.37	15.43	16.26	17.63	17.41	13.68	9.87	9.82	16.20	12.99	8.35	16.88	15.88	16.77	16.85	18.88	0.64	1.17	0.38	0.62	15.29	11.68	16.31	18.76	7.82	13.36	11.64	9.86
Nitritos	0.0006	0.002	1E-03	0.0006	0.0071	0.0032	0.001	0.001	0.008	0.013	0.002	0.002	0.0022	0.001	0	0	0.01	0	0.002	0.002	0.00201	0.008	0.0060178	0.004	7E-04	5E-04	3E-04	0.037
DBO5	2.59	3.73	1.51	0.48	2.05	0.06	5.18	1.27	2.23	3.80	5.90	0.42	2.23	7.47	1.14	0.36	2.11	5.00	3.01	0.12	2.95	3.25	2.53	0.42	2.53	3.67	1.63	0.00
Fosfatos	0.79	0.87	0.96	1.14	0.32	0.57	2.30	1.38	1.01	1.09	0.96	0.80	0.35	1.46	0.38	0.35	0.69	0.48	0.39	0.39	0.23	0.47	0.42	0.38	0.17	0.33	0.26	0.24

Z.2 P.5				Z.2 P.6				Z.2 P.7				Z.3 P.1				Z.3 P.2				Z.3 P.3																											
monitoreo																																															
7.45	6.98	5.9	6.54	7.46	6.84	5.76	6.67	7.85	7.33	5.82	6.95	7.45	6.88	5.91	6.99	7.76	6.99	5.99	7.13	7.58	7.02	6.16	7.09	31.2	29.6	30.8	31.2	30.9	30.1	30.2	29.6	30.9	31.1	30.6	31	28.3	28.7	28.5	28.6	29.3	29.8	29.4	29.4	29.8	31.5	30.6	30.3
516	557	453	631	874	899	689	553	825	803	670	614	603	629	490	491	648	678	541	543	1120	1186	946	852	4.59	5.67	4.34	4.22	4.03	4.06	3.96	3.88	6.33	6.62	6.03	5.15	4.55	4.11	5.81	3.85	5.95	5.54	5.29	5.79	6.35	5.05	5.81	6.74
0.4	3.7	0.8	0.42	3.3	1.4	3.3	2.44	0.6	1.1	4.5	0.88	0.34	1.5	4.2	1.18	0.58	2	4.5	2.27	1.44	1.99	0.4	1.24	266	268	269	298	456	444	407	410	430	395	388	368	306	301	290	296	330	329	321	375	579	585	501	509
265	230	295	400	360	365	490	250	285	255	365	330	160	255	290	245	160	205	240	230	205	270	245	335	2400	2400	460	1100	150	2400	1100	150	2400	1100	150	1100	2400	1100	2400	2400	1100	1100	2400	2400				
40.87	41.67	32.07	46.30	67.57	69.03	36.63	78.30	64.40	78.37	41.57	67.27	41.33	43.93	33.10	42.60	42.60	42.47	32.07	38.90	91.73	119.17	32.40	82.77	2.088	0.547	0.19	0	2.692	0.95	0	0	2.5967	0.3843	0	0	0.1327	0	0	0	0	0	0.1308	0	0.9234	0	0	0
15.13	16.50	15.38	18.59	10.62	9.80	9.92	12.21	16.67	15.32	15.49	14.77	5.76	8.95	12.00	11.87	11.92	14.58	16.08	8.67	16.12	17.14	16.52	18.95	0.002	1E-03	0	0.001	0.011	0	0.002	0.02	0.0008	0.0004	0.0001	0.0082	0.0007	0.0017	0.001	0.0017	0.0065	0.0015	0.0004	0.0013	0.0035	0.0037	0.001	0.0013
2.23	3.49	2.11	0.00	1.75	5.12	0.30	0.84	1.99	4.46	2.05	0.42	2.77	0.12	2.89	0.24	2.53	1.99	2.59	0.72	3.07	2.35	4.04	1.45	0.32	0.36	0.35	0.28	0.20	0.47	0.23	0.26	0.65	1.44	0.59	0.53	1.59	2.06	1.84	1.93	0.23	0.34	0.28	0.29	0.23	0.35	0.31	0.31

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Parametros	Z.3 P.4				Z.3 P.5				Z.3 P.6				Z.4 P.1				Z.4 P.2				Z.4 P.3			
	monitoreo																							
pH	7.41	7.01	6.06	6.93	7.5	6.96	6.02	6.99	7.74	7.02	5.95	6.93	7.47	7.03	6.01	7.04	7.51	6.91	5.96	6.77	7.83	7.29	7.41	7.28
Temperatura	30.2	29.6	30.4	30.2	29.6	29.6	29	29.2	32	30.9	30.7	31.8	32	31.9	31.6	31.1	32.2	31.3	31.2	31.8	34	35.6	31.5	31.5
Conductividad electrica	616	634	530	545	561	573	455	455	541	564	456	466	1015	982	791	837	958	986	876	954	658	641	469	534
Oxigeno Disuelto	2.95	3.24	3.55	4.51	1.94	2.22	2.55	3.19	6.14	6.14	6.22	6.11	5.14	5.5	4.6	5.3	3.6	3.66	4.02	3.95	5.36	5.22	4.21	5.52
Turbidez	0.4	0.75	5.9	0.74	0.57	1.25	2.7	1.56	2	1.74	2.4	0.54	0.32	1.33	0.6	2.53	0.45	1.45	0.4	0.33	0.5	1.42	16.4	0.46
Solidos Disueltos Totales	316	309	311	322	286	279	261	267	279	274	262	272	513	485	459	497	484	487	478	480	330	314	258	303
Dureza	155	220	280	275	150	220	280	230	260	245	300	245	325	230	305	355	275	230	310	355	195	155	95	160
Coliformes fecales	1100	1100	460	2400	2400	2400	2400	1100	2400	1100	2400	2400	9	2400	460	1100	2400	2400	1100	2400	210	1100	150	2400
Sulfatos	47.17	46.17	36.83	60.83	40.97	42.67	28.57	34.83	39.27	39.50	28.20	40.23	57.80	54.57	38.30	57.70	64.07	64.13	32.33	64.27	50.53	53.07	39.10	54.77
Arsénico	0.4525	0	0.5712	0	0.9102	0	0	0	2.8117	2.07	0	0	0	3.7697	0	0	0.6694	4.1067	0	0	2.7576	0	0	0
Nitratos	4.96	3.67	2.33	7.64	3.76	3.61	3.23	4.37	7.03	6.88	7.10	7.96	18.60	17.67	20.08	20.98	12.02	12.01	12.03	11.61	4.16	2.06	3.65	6.10
Nitritos	0.0013	0.001	7E-05	0.0016	0.0007	0.0017	0.0009	0.001	0.0021	0.0003	0.0001	0.0008	0.0004	0.0005	0.0009	0.0004	0.0009	0.0013	0.001	0.0002	0.0006	0.001	0.0715	0.0007
DBO5	3.13	2.65	3.37	3.55	3.01	1.14	0.60	1.93	3.92	1.02	0.48	0.00	6.93	1.87	0.48	0.12	6.02	2.35	2.77	0.12	3.31	2.89	0.78	0.66
Fosfatos	0.87	0.93	0.93	0.89	1.69	1.56	1.78	1.89	0.68	0.73	0.72	0.73	0.09	0.18	0.15	0.12	0.06	0.37	0.15	0.19	0.09	0.48	0.08	0.15

Parametros	Z.4 P.4				Z.4 P.5				Z.4 P.6				Z.4 P.7				Z.4 P.8				Z.4 P.9			
	monitoreo																							
pH	7.96	7.39	6.17	7.32	7.5	7.98	6.12	7.11	7.62	7.08	6.04	6.75	7.5	6.96	6.06	7.03	7.62	7.15	6.09	7	7.69	6.96	6.16	7.25
Temperatura	33.7	33	31.9	32.2	33.6	32.5	31.6	31.7	32.7	30.8	31.7	32.2	32.2	31.6	30.3	31.3	33.3	31.6	30.8	31.3	29.9	29.6	30	30.8
Conductividad electrica	721	782	653	574	640	987	801	803	939	985	857	928	700	738	649	627	726	748	653	639	596	660	662	535
Oxigeno Disuelto	4.94	5.16	5.9	5.37	3.11	3.28	4.03	3.95	4	5.87	5.48	5.1	3.49	3.49	4.05	4.44	5.04	5.52	4.66	3.95	4.66	4.38	5.64	7.6
Turbidez	0.31	1.44	0.7	0.31	0.55	4.26	0.9	4.1	0.58	12.5	0.6	0.55	0.38	1.4	0.7	0.44	0.44	2.6	0.9	0.32	1.2	2	0.5	0.74
Solidos Disueltos Totales	364	385	358	328	493	489	445	462	478	477	463	465	354	361	351	364	369	371	360	364	309	313	313	301
Dureza	120	110	140	90	250	215	355	365	230	245	310	450	205	205	370	335	195	290	275	320	255	305	285	330
Coliformes fecales	150	1100	460	2400	1100	2400	2400	2400	2400	2400	2400	1100	2400	2400	460	2400	2400	1100	2400	2400	240	2400	1100	460
Sulfatos	48.80	45.77	32.83	47.30	64.33	64.33	37.87	70.13	57.30	59.47	40.20	78.37	67.93	67.03	36.73	67.33	65.00	63.87	35.77	65.73	57.70	50.10	34.53	72.87
Arsénico	0	0	0	0	0.3855	0	0	0	0.3522	0	0	0	0.0497	0	0	0	0.0856	0	0	0	2.7122	0.9574	0	0
Nitratos	6.15	4.08	7.86	6.20	17.37	18.29	18.63	18.12	18.04	18.21	16.20	5.31	4.14	4.13	3.98	5.80	7.27	6.59	6.69	5.92	1.82	1.85	1.66	2.42
Nitritos	0.0007	0.0013	0.0015	0.0005	0.0104	0.0215	0.0287	0.0486	0.0059	0.0091	0.0043	0.0057	0.0023	0.0027	0.0032	0.0016	0.0069	0.0034	0.0019	0.0012	0.0012	0.0002	0.0002	0.0007
DBO5	2.05	3.86	2.23	0.84	2.77	2.29	3.37	2.05	2.77	2.89	2.71	0.00	1.63	5.72	2.65	0.24	1.93	2.53	2.71	0.66	2.53	0.18	0.60	1.81
Fosfatos	0.07	0.17	0.14	0.12	0.36	0.47	0.30	0.42	0.25	0.45	0.33	0.43	0.56	0.74	0.55	0.52	0.38	1.12	0.47	0.38	0.91	0.97	0.93	0.87

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Apéndice 6. Detalle completo de los resultados obtenidos en la aplicación de la metodológica canadiense de calidad de agua.

F1	57.14285714				64.28571429				64.28571429				71.42857143				57.14285714				71.42857143				71.42857143						
F2	48.21428571				46.42857143				53.57142857				57.14285714				44.64285714				57.14285714				53.57142857						
Parametros	P1				P2				P3				P4				P5				P6				P7						
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3
pH	0.0067		0.19		0.0147		0.186		0.015		0.159	0.003		0.178	0.17	0.01	0		0.155	0.017	0.00133	0.013	0.2006861				0.01	0.182	0.059		
Temperatura	0.168	0.24	0.152	0.188	0.292	0.172	0.176	0.14	0.252	0.196	0.196	0.224	0.232	0.184	0.23	0.22	0.22	0.24	0.208	0.224	0.2	0.188	0.2	0.168			0.4	0.356	0.224	0.272	
Conductividad electrica									0.04	0.099	0.111		0.1813	0.667							0.18	0.221			0.332	0.319		0.104			
Oxigeno Disuelto	0.3359	0.077	0.025	0.0294	0.2324	0.8568	0.549	0.48	0.461	0.23	0.351	0.23	2.211	0.877	1.71	1.79	2.41	0.5	2.125	3.242	0.24555	0.316	0.3257576	0.268	0.647	0.837	0.862	0.847			
Turbidez					1.6												2.06				0.93	2.12									
Solidos Disueltos Totales														0.582													0.05				
Dureza	0.5	1.2	2.35	1.6	1.7	0.65	1.25	1.55	3.05	1.65	0.7	2.9	2.3	4.45	3.35	3.1	1.05	1.25	1.65	1.35	1.85	1.7	1.6	3.25	3.7	3.1	3.15	3			
Coliformes fecales	799	799	365.7	152.33	799	799	152.3	799	799	799	365.7	799	799	799	49	799	799	799	152.3	799	799	365.7	152.33333	799	799	799	365.7	799			
Sulfatos																															
Arsénico	194.3				164.3				152.6				212.41		16.7		256				177.65	38.08			271.5	106.1	82.45				
Nitratos	0.6367	0.543	0.626	0.7625	0.7413	0.3682			0.62	0.239	0.688	0.688	0.5883	0.677	0.69	0.89					0.52853	0.168	0.6309783	0.876		0.336	0.164				
Nitritos																															
DBO5																															
Fosfatos	2.1556	2.489	2.633	3.5667	0.2667	1.2889	8.211	4.522	3.033	3.356	2.822	2.2	0.4	4.856	0.51	0.39	1.78	0.93	0.578	0.544					0.867	0.6888889	0.522	0.322	0.022		
nse		41.6246				48.9086				52.4842				48.3309				50.4689				41.9641				57.8931					
F3		97.6539				97.9963				98.1303				97.9729				98.0571				97.6725				98.3020					
CCME-WQI		28.9904				27.2161				25.5395				22.6112				29.5861				22.7379				23.3270					

57.14285714				64.28571429				64.28571429				57.14285714				57.14285714				78.57142857			
53.57142857				48.21428571				55.35714286				46.42857143				46.42857143				62.5			
P8				P9				P10				P11				P12				P13			
M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	0.003	0.19	0.07		0.02	0.215	0.05	0.0467		0.2027	0.0072		0.0174	0.1844	0.0014	0.0347	0.0014	0.1686		0.0107		0.1364	
0.248	0.184	0.23	0.248	0.236	0.2	0.208	0.18	0.236	0.244	0.224	0.24	0.132	0.148	0.14	0.144	0.172	0.192	0.176	0.176	0.192	0.26	0.224	0.212
				0.165	0.2			0.1	0.0707											0.4933	0.5813	0.2613	0.136
0.525	0.235	0.61	0.659	0.737	0.72	0.768	0.8	0.1058	0.0574	0.1609	0.3592	0.5385	0.7032	0.2048	0.8182	0.1765	0.2635	0.3233	0.209	0.1024	0.3861	0.2048	0.0386
																				0.158	0.17	0.002	0.018
1.65	1.3	1.95	3	2.6	2.65	3.9	1.5	1.85	1.55	2.65	2.3	0.6	1.55	1.9	1.45	0.6	1.05	1.4	1.3	1.05	1.7	1.45	2.35
799	799	152	365.7	49	799	365.7	366	49	799	69	799	365.67	49	365.67	799	365.67	799	799	799	365.67	365.67	799	799
																				0.1917			
207.8	53.68	17.5		268.2	93.7			258.67	37.43			12.27						12.08		91.34			
0.512	0.65	0.54	0.859	0.062			0.22	0.6674	0.5321	0.5492	0.4774			0.2003	0.187	0.1916	0.4582	0.6082		0.6117	0.7136	0.6522	0.8946
0.278	0.433	0.41	0.1	0.87		0.06	1.6111	4.7556	1.3444	1.1333	5.3667	7.2444	6.3667	6.7		0.3556	0.1222	0.1444		0.4111	0.2556	0.2222	
	43.0342				34.9572				36.3138				29.0393				49.6941				43.4779		
	97.7290				97.2189				97.3200				96.6710				98.0274				97.7517		
	27.6880				27.1766				25.4587				29.8405				29.2159				19.0962		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

F1	57.14285714				50				50				64.28571429				64.28571429				57.14285714			
F2	44.64285714				42.85714286				44.64285714				48.21428571				55.35714286				33.92857143			
Parametros	P14				P15				P16				P17				P18				P19			
	M1	M2	M3	M4																				
pH			0.1551	0.0101		0.0057	0.1628	0.0014	0.032		0.1765	0.0101			0.1647		0.0013	0.013	0.1745	0.034	0.044			
Temperatura	0.208	0.184	0.216	0.208	0.184	0.184	0.16	0.168	0.28	0.236	0.228	0.272	0.28	0.276	0.264	0.244	0.288	0.252	0.248	0.272	0.36	0.424	0.26	0.26
Conductividad electrica													0.3533	0.3093	0.0547	0.116	0.2773	0.3147	0.168	0.272				
Oxigeno Disuelto	1.3729	1.1605	0.9718	0.5521	2.6082	2.1532	1.7451	1.1944	0.1401	0.1401	0.1254	0.1457	0.3619	0.2727	0.5217	0.3208	0.9444	0.9126	0.7413	0.7722	0.306	0.341	0.6627	0.2681
Turbidez			0.18																				2.28	
Solidos Disueltos Totales													0.026											
Dureza	0.55	1.2	1.8	1.75	0.5	1.2	1.8	1.3	1.6	1.45	2	1.45	2.25	1.3	2.05	2.55	1.75	1.3	2.1	2.55	0.95	0.55		0.6
Coliformes fecales	365.67	365.67	152.33	799	799	799	799	365.67	799	365.67	799	799	2	799	152.33	365.67	799	799	365.67	799	69	365.67	49	799
Sulfatos																								
Arsénico	44.25		56.12		90.02				280.17	206				375.97			65.94	409.67				274.76		
Nitratos													0.8601	0.7671	1.0082	1.0978	0.2022	0.2005	0.2027	0.1611				
Nitritos																								
DBO5																								
Fosfatos	2.4778	2.7111	2.7	2.5556	5.7667	5.2556	6.1111	6.5444	1.7111	1.9222	1.8778	1.9						0.4889				0.9333		
nse		32.2143				51.6023				58.2952				30.5431				58.0878				27.9583		
F3		96.9892				98.0989				98.3135				96.8297				98.3076				96.5468		
CCME-WQI		30.0808				31.7823				31.2993				27.3497				25.0279				32.3279		

42.85714286				64.28571429				71.42857143				50				50				50			
32.14285714				53.57142857				55.35714286				41.07142857				41.07142857				44.64285714			
P20				P21				P22				P23				P24				P25			
M1	M2	M3	M4																				
0.0613		0.1345			0.064	0.1438		0.016		0.1589	0.037		0.0057	0.1551		0.016		0.1494		0.0253	0.0057	0.1364	
0.348	0.32	0.276	0.288	0.344	0.3	0.264	0.268	0.308	0.232	0.268	0.288	0.288	0.264	0.212	0.252	0.332	0.264	0.232	0.252	0.196	0.184	0.2	0.232
	0.0427				0.316	0.068	0.0707	0.252	0.3133	0.1427	0.2373												
0.417	0.3566	0.1864	0.3035	1.2508	1.1341	0.737	0.7722	0.75	0.1925	0.2774	0.3725	1.0057	1.0057	0.7284	0.5766	0.3889	0.2681	0.5021	0.7722	0.5021	0.5982	0.2411	-0.079
									1.5														
0.2	0.1	0.4		1.5	1.15	2.55	2.65	1.3	1.45	2.1	3.5	1.05	1.05	2.7	2.35	0.95	1.9	1.75	2.2	1.55	2.05	1.85	2.3
49	365.67	152.33	799	365.67	799	799	799	799	799	799	365.67	799	799	152.33	799	799	365.67	799	799	79	799	365.67	152.33
				37.55				34.22				3.97				7.56				270.22	94.74		
				0.7367	0.8291	0.863	0.8122	0.8038	0.8209	0.6198													
				0.4444	0.8778	0.2	0.6889		0.7889	0.3	0.7222	1.2444	1.9667	1.2111	1.0778	0.5333	3.4889	0.8667	0.5222	2.6333	2.8667	2.7	2.4778
	24.4542				50.3438				50.2614				45.9008				49.7431				31.8148		
	96.0714				98.0523				98.0492				97.8678				98.0293				96.9526		
	36.4906				25.5738				23.0127				32.2608				32.1831				31.9471		

Fuente: Elaboración propia, 2019.



**CONSTANCIA DE RECEPCION DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN
DE**

ESTUDIANTE:

Luis Alejandro Calderón Rossel

REGISTRO ACADÉMICO:

201440071

CARRERA:

Ingeniería en Gestión Ambiental Local

CON EL TÍTULO:

**Caracterización de la calidad del agua subterránea en la
ciudad de Zacapa, departamento de Zacapa**

La encargada de Biblioteca del Centro Universitario de Oriente, hace constar que se recibió de forma virtual el TRABAJO DE GRADUACIÓN descrito anteriormente, por lo cual se le extiende la presente, de acuerdo al Artículo 58.8, del Punto NOVENO, DEL ACTA 37-2020, del Consejo Directivo del Centro Universitario de Oriente.

Chiquimula, 14 de mayo de 2021.



f)



[sello]

[QR]